

Школа Инженерная школа новых производственных технологий  
 Направление подготовки 15.04.01 Машиностроение  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение машиностроения

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики

УДК 621.951.45:620.178-045.79

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Губайдуллин Денис Маратович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОМШ ИШНПТ ТПУ	Козлов В.Н.	К.Т.Н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОМШ ИШНПТ ТПУ	Черкасов А.И.			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор ОСГН ШБИП ТПУ	Гасанов М.А.	Д.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП ТПУ	Антоневич О.А.	к.б.н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении	Сорокова С.Н.	к.ф-м.н.		

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Инженерная школа новых производственных технологий  
Направление подготовки 15.04.01 «Машиностроение»  
Отделение машиностроения

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель ООП

\_\_\_\_\_ Сорокова С.Н.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

магистерской диссертации
--------------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
4АМ11	Губайдуллин Денис Маратович

Тема работы:

Определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики
---

Утверждена приказом директора (дата, номер)	№32-55/с от 01.02.2023
---	------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	01.06.2023
--	------------

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<p><b>Исходные данные к работе</b></p> <p>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</p>	<p>Объектом исследования является конструктивные особенности процесса сверления спиральным сверлом; Материал сырья: Спиральное сверло из быстрорежущей стали марки Р6М5; Требование к объекту: отсутствуют;</p>
<p><b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b></p> <p>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</p>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Литературный обзор.</li><li>2. Исследовательская часть. Выбор оптимальных режимов резания. Подбор оборудования для определения показателей вибрации в процессе сверления. Определение влияния показателей вибрации на износ спирального сверла.</li><li>3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.</li><li>4. Социальная ответственность.</li></ol>

	5. Заключение и выводы.
Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей)	Демонстрационный материал (презентация в MS PowerPoint 10 слайдов)
<b>Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы</b> (с указанием разделов)	
<b>Раздел</b>	<b>Консультант</b>
Исследовательский	Черкасов А.И.
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Гасанов М.А.
Социальная ответственность	Антоневич А.О.
Обязательное приложение на английском языке	Гутарева Н.Ю.
<b>Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:</b>	
Article: «Literature review»	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	12.09.2022
--	------------

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОмШ ИШНПТ ТПУ	Козлов В.Н.	к.т.н.		12.09.2022

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Губайдуллин Денис Маратович		12.09.2022

## Результаты обучения Направление 15.04.01 Машиностроение

### ООП: Автоматизация технологических процессов и производств в машиностроении

Код компетенции СУОС	Наименование компетенции СУОС
<b>Универсальные компетенции</b>	
УК(У)-1	Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, выработать стратегию действий
УК(У)-2	Способен управлять проектом на всех этапах его жизненного цикла
УК(У)-3	Способен организовать и руководить работой команды, выработывая командную стратегию для достижения поставленной цели
УК(У)-4	Способен применять современные коммуникативные технологии, в том числе на иностранном (-ых) языке (-ах), для академического и профессионального взаимодействия
УК(У)-5	Способен анализировать и учитывать разнообразие культур в процессе межкультурного взаимодействия
УК(У)-6	Способен определять и реализовывать приоритеты собственной деятельности и способы ее совершенствования на основе самооценки
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
ОПК(У)-1	Способен формулировать цели и задачи исследования, выявлять приоритеты решения задач, выбирать и создавать критерии оценки результатов исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять экспертизу технической документации при реализации технологического процесса
ОПК(У)-3	Способен организовывать работу коллективов исполнителей, принимать исполнительские решения в условиях спектра мнений, определять порядок выполнения работ, организовывать в подразделении работы по совершенствованию, модернизации, унификации выпускаемых изделий и их элементов, разработке проектов стандартов и сертификатов, обеспечивать адаптацию современных версий систем управления качеством к конкретным условиям производства на основе международных стандартов
ОПК(У)-4	Способен разрабатывать методические и нормативные документы при реализации разработанных проектов и программ, направленных на создание узлов и деталей машин
ОПК(У)-5	Способен разрабатывать аналитические и численные методы при создании математических моделей машин, приводов, оборудования, систем, технологических процессов
ОПК(У)-6	Способен использовать современные информационно-коммуникационные технологии, глобальные информационные ресурсы в научно-исследовательской деятельности
ОПК(У)-7	Способен проводить маркетинговые исследования и подготавливать бизнес-планы выпуска и реализации перспективных и конкурентоспособных изделий в области машиностроения
ОПК(У)-8	Способен подготавливать отзывы и заключения на проекты стандартов, рационализаторские предложения и изобретения в области машиностроения
ОПК(У)-9	Способен подготавливать научно-технические отчеты, обзоры, публикации по результатам выполненных исследований в области машиностроения
ОПК(У)-10	Способен разрабатывать методы стандартных испытаний по определению физико-механических свойств и технологических показателей используемых материалов и готовых изделий
ОПК(У)-11	Способен организовывать и осуществлять профессиональную подготовку по образовательным программам в области машиностроения
ОПК(У)-12	Способен разрабатывать и применять алгоритмы и современные цифровые системы автоматизированного проектирования деталей и узлов машин и оборудования различной сложности на современном машиностроительном предприятии

<b>Профессиональные компетенции</b>	
ПК(У)-1	Способен разрабатывать технические задания на НИР и ОКР при исследовании, проектировании и изготовлении машин, приводов, оборудования, систем, нестандартного оборудования и средств технологического оснащения.
ПК(У)-2	Способен проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки при исследовании самостоятельных тем или тем организаций.
ПК(У)-3	Способен подготавливать заявки на изобретения, полезные модели и промышленные образцы с использованием средств и методов патентного поиска.
ПК(У)-4	Способен разрабатывать технологии и управляющие программы изготовления особо сложных деталей на многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ и многокоординатных фрезерных обрабатывающих центрах с ЧПУ.
ПК(У)-5	Способен производить технологическую подготовку и обеспечение производства деталей машиностроения средней и высокой сложности
ПК(У)-6	Способен проектировать особо сложные станочные, сборочные и контрольно-измерительные приспособления.
ПК(У)-7	Способен производить автоматизированное проектирование технологических процессов изготовления деталей и сборки сборочных единиц изделий высокой сложности.
ПК(У)-8	Способен производить автоматизацию и механизацию производственных процессов механосборочного производства.
ПК(У)-9	Способен организовать инструментальное обеспечение механосборочной организации.
ПК(У)-10	Способен проектировать и организовывать учебный процесс по образовательным программам с использованием современных образовательных технологий
ПК(У)-11	Способен обеспечить качество изделий высокой сложности в механосборочном производстве.
ПК(У)-12	Способен управлять развитием литейного производства
ПК(У)-13	Способен производить технологическое проектирование механосборочной организации

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа выполнена на 106 страниц, содержит 18 рисунков, 21 таблиц, 1 приложение.

Ключевые слова: спиральное сверло, вертикально-сверлильный станок, сверление, износ режущего инструмента, вибрационный сигнал, вибродиагностика.

Объектом исследования является процесс сверления заготовки спиральным сверлом из быстрорежущей стали Р6М5 и метод проведения вибродиагностики режущего инструмента.

Целью работы является определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики.

В процессе исследования проводился ряд экспериментальных исследований по достижению износа спирального сверла и последующему определению параметров вибрации, возникающие при сверлении.

В результате исследований определен метод определения критического износа спирального сверла с использованием вибродиагностической аппаратуры, выявлены причины возникновения вибраций на рассматриваемом диапазоне частот, установлено влияние износа спирального сверла на показатели вибрации.

## Содержание

Введение .....	9
1. Обзор литературы .....	10
1.1. Терминология и классификация сверл. Основные конструкционные элементы спиральных сверл.....	10
1.2. Составляющие силы резания при сверлении .....	12
1.3. Износ сверл. Расчет режимов резания при сверлении .....	14
1.4. Метод определения виброустойчивости по амплитудно-фазовой частотной характеристике .....	17
1.5. Причины вибрации в технологической системе процесса сверления. Методы их снижения.....	18
1.6. Понятие автоколебаний в процессе резания материалов .....	19
1.7. Методы вибродиагностики .....	22
1.8. Измерительные приборы для определения вибраций.....	26
2. Определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики.....	31
2.1. Оборудование, используемые для выполнения исследования.....	31
2.2. Определение схемы проводимых исследований .....	34
2.3. Анализ полученных результатов исследования .....	36
Заключение.....	41
3. Социальная ответственность.....	44
3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения .....	45
3.2. Производственная безопасность .....	46
3.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов .....	47
3.3. Экологическая безопасность .....	54
3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	56
Вывод по разделу .....	58
4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	63
4.1. Предпроектный анализ.....	63
4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования .....	63
4.1.2. Анализ конкурентных решений .....	64
4.1.3. SWOT-анализ .....	66
4.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	68
4.2. Планирование научно-исследовательских работ .....	70
4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования.....	70

4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения .....	71
4.3. Бюджет научного исследования .....	75
4.3.1. Расчет материальных затрат научного исследования.....	75
4.3.2. Расчет амортизации специального оборудования .....	76
4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы .....	77
4.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала .....	79
4.3.5. Отчисления на социальные нужды .....	80
4.3.6. Накладные расходы .....	80
4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	80
4.4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	81
4.4.1. Интегральный показатель финансовой эффективности.....	81
4.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности .....	82
4.4.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ..	83
Вывод по разделу.....	85
Список используемой литературы.....	86
Приложение А.....	88



## **Введение**

Приблизительно 20 % от общей массы оборудований в машиностроительном производстве приходится на сверлильные станки, не учитывая обработку изделий процессом сверления на станках иных видов и назначений. Свыше 60 % изделий и машинных оборудований включают в себе наличие отверстий. Процесс сверление является единственным способом для получения отверстий в используемых материалах и заготовках, в связи с этим инструмент сверло является часто используемым из категорий и спектров режущих инструментов.

Процент использования данного инструмента в производственных организациях довольно велик относительно других и варьируется в пределах от 13 до 28 % от общего количества, используемого в рабочей деятельности. В общем объеме производства режущего инструмента наибольший удельный вес занимают спиральные сверла (около 30 %). Деформация сверл влечет за собой остановку рабочего процесса машинных оборудований, как следствие, к характерной отбраковке изготавливаемых деталей. Данный факт присуще, скорее, для производственных организаций массового назначения, которые обеспечивают работу обширного количества режущих инструментов в условиях дефицита точечного осуществления контроля за состоянием всего спектра инструментов. При этом следует отметить, что область применения спиральных быстрорежущих сверл далеко не ограничено машиностроительным производством, и находит свое применения и в других областях производства, в которых бесперебойная работа данного инструмента так же важна.

Поэтому определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики является актуальной проблемой.

Цель исследования: определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики.

## **1. Обзор литературы**

### **1.1. Терминология и классификация сверл. Основные конструкционные элементы спиральных сверл.**

Сверло представляет собой режущий инструмент, который имеет одну или несколько прямых, или винтовых канавок и может иметь полое тело для прохождения смазочно-охлаждающей жидкости и стружки во время создания отверстия в твердом материале или материале с сердцевиной. Сверла сильно различаются по форме, размеру и допуску. Сверла классифицируются по материалу, из которого они изготовлены, по длине, форме, количеству канавок, характеристикам острия, типу хвостовика и серии размеров. Лучший тип сверла для конкретного применения зависит от просверливаемого материала, его конструкции.

характеристики, размеры отверстий, независимо от того, является ли просверливаемый материал порошковым или сплошным, требуется ли сквозное или глухое отверстие, а также характеристики станка и приспособления, а также условия резания. Выбор подходящего типа сверла для конкретного применения требует учета всех этих факторов. Производители сверл предлагают однотипные сверла с небольшими вариациями как в конфигурации, так и в металлургии. Эти незначительные отклонения сильно влияют на срок службы и качество отверстий, особенно для сверл малого диаметра. Используются самые разные сверла. В настоящее время четкой классификации не существует, хотя их можно выделить на несколько категорий на основе обзора сверлильных инструментов из. Во-первых, отметим, что сверла должны быть изготовлены либо из одного корпуса (обычно называемые переточенными сверлами), либо с использованием режущих пластин (переточенные сверла, сменные и т. д.).

Перетачиваемые сверла обычно ограничены по максимальному диаметру, в то время как сверла со пластинами ограничены по минимальному диаметру. Последние часто используются в других отраслях промышленности, помимо резки металла (например, в горнодобывающей

промышленности) из-за возможности делать их настолько большими, насколько это необходимо, хотя для резки металла подходят устройства меньшего диаметра.

Спиральные сверла являются наиболее распространенным типом сверл, но они сильно различаются с точки зрения геометрии. Они называются «спиральными сверлами» из-за наличия одного или нескольких спиральных каналов для отвода стружки вдоль их корпуса, что называется «канавкой». Однако случай, когда винтовой угол равен нулю, а канавки прямые (так называемая «нулевая спираль» или «прямая канавка»), также рассматривается как тип спирального сверла.

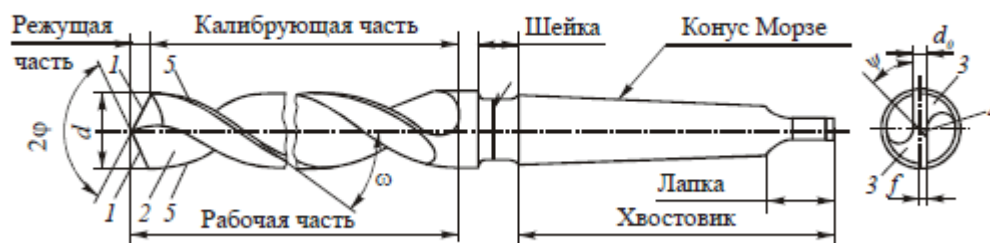


Рисунок 1.1. Конструктивные элементы спирального сверла

Рассматриваемый режущий инструмент, в данном случае спиральное сверло (Рисунок 1.1), имеет следующие конструктивные элементы: рабочая часть, которая включает в себя режущий и калибрующий элемент, хвостовик, состоящий из лапки и конус Морзе, а также шейка. На режущем элементе режущего инструмента (сверла), имеющий заточенный под конус угол равному  $2\phi$ , располагаются две симметрично расположенные главные режущие кромки  $1$ , являющиеся линиями пересечений  $2$ -х винтовых передних  $2$  и  $2$ -х фасонных главных задних поверхностей  $3$ . Главные режущие кромки соединены поперечной режущей кромкой (перемычкой)  $4$  – линией пересечения двух главных задних поверхностей. На наружной поверхности сверла, выполненной в виде двух направляющих калибрующих ленточек шириной  $f$ , находятся  $2$  вспомогательные режущие кромки  $5$ .

Передняя поверхность спирального сверла представляет собой линейчатую конволютную винтовую поверхность, так как она образуется винтовым движением с постоянным шагом главной режущей кромки, наклоненной к оси сверла под углом  $\varphi$  по направляющему цилиндру, диаметр которого равен сердцевине сверла  $d_0$ .

### **1.2. Составляющие силы резания при сверлении**

В процессе операции сверления действуют 3 силы резания, из которых: две главные силы и одна поперечная сила, режущие кромки которых в общей сложности создают нагрузку (силу), действующую на инструмент. Помимо основных действующих сил в процессе сверления возникает трение ленточек сверла о стенки обрабатываемого отверстия в детали в процессе сверления, которое в свою очередь влияет на крутящий момент.

Равнодействующая силы резания на главной режущей кромке сверла состоит из трех взаимно перпендикулярных составляющих силы (рисунок 1.2):

$R_x$  – составляющая силы, действующая параллельно оси сверла (сила подачи);

$R_y$  – составляющая силы, действующая радиально к оси сверла (радиальная сила);

$R_z$  – составляющая силы, действующая в направлении вектора скорости резания (тангенциальная сила).

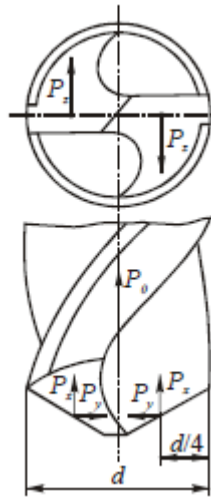


Рисунок 1.2. Составляющая сил, действующих на спиральное сверло

Крутящий момент при сверлении:

$$\sum M_{кр} = 2P_z \frac{d}{2} + 2M_{трл} + M_{прк}, \quad (1.1)$$

где  $P_z$  – тангенциальная составляющая силы резания, действующая на одной главной режущей кромке;  $M_{трл}$  – момент трения на ленточках,  $M_{трл} \leq 12\% \sum M_{кр}$ ;  $M_{прк}$  – момент на поперечной режущей кромке,  $M_{прк} \leq 8\% \sum M_{кр}$ .

Осевая сила рассчитывается по следующей формуле:

$$P_o = 2P_x + P_{хпрк}, \quad (1.2)$$

где  $P_x$  – сила подачи, действующая на одной главной режущей кромке сверла;  $P_{хпрк}$  – сила подачи, действующая на поперечной режущей кромке сверла и зависящая от метода заточки,  $P_{хпрк} = (30 \dots 60\%) P_o$ .

Режущие кромки при сверлении происходит по следующим режущим кромкам: передняя поверхность, режущая кромка и по перемычке. Поперечная кромка и режущие кромки являются основными режущими участками и отвечают за большую часть работы по удалению материала, в то время как режущая часть на ленточке называется “развертыванием” при этом целью является возникновение отверстия. Теоретически по передней поверхности не должно происходить резания, но из-за деформации детали под действием силы тяги часть материала удаляется. Окончательная (финишная) поверхность отверстия будет иметь коническую

форму (а не идеальный цилиндр). В области режущих кромок резка более эффективна, и желательна иметь как можно маленький размер ленточки. Прочность сверла напрямую зависит от размера полотна, а перемычка - это режущая кромка, связанная с полотном. Из-за сильно отрицательного переднего угла и низких местных скоростей резания, область перемычки является одной из наименее эффективных областей резания, с самыми высокими элементарными силами резания. Даже поскольку площадь кромки перемычки обычно составляет 20% диаметра сверла, на нее редко приходится около 50% осевой силы. Кромки перемычки позиционируют сверло до того, как основные режущие кромки начнут резать, и стабилизируют сверло на протяжении всего процесса резки. Это также влияет на характеристики центрирования сверла. В некоторых случаях на острие инструмента выполняются дополнительные шлифовальные операции, чтобы уменьшить размер кромки перемычки называемая «утонением полотна».

Основными режущими кромками являются режущие кромки, которые влияют на крутящий момент, тягу, радиальные силы, мощность, расход, температура сверления и образование заусенцев на входе и выходе.

С точки зрения практики осевую силу  $P_o$  и крутящий момент  $M_o$  рассчитывают по соответствующим формулам:

$$M_o = C_m d^{x_m} s^{y_m} K_{m'} \quad (1.3)$$

где  $C_p$ ,  $C_m$  – коэффициенты, характеризующие условия сверления и свойства обрабатываемого материала, принятого за эталон;

$K_p$ ,  $K_m$  – коэффициенты, характеризующие изменение условий сверления (метод заточки, подточки, СОЖ и др.)

### **1.3. Износ сверл. Расчет режимов резания при сверлении**

При осуществлении операции сверления скорость резания и пути трения переменны по длине режущих кромок. В процессе сверления образуются наросты, так называемые стружки, широких и тонких размеров, в последствии которых режущий инструмент имеет характерный износ по задней поверхности главной режущей кромки. В данном случае износ

выделяется в виде фаски, переменной по длине режущих кромок ширины  $h_{зп}$ , размер которой приблизительно пропорционален радиусу самого инструмента (сверла). В процессе сверления наиболее хрупких изделий и заготовок процесс износа происходит по уголкам  $h_y$ . В процессе сверления на повышенных скоростях резания деталей или заготовок, состоящих из вязкого материала, процесс износа происходит по передним поверхностям в форме лунки износа и по ленточкам в форме фаски износа  $h_{л}$  (Рисунок 1.3).

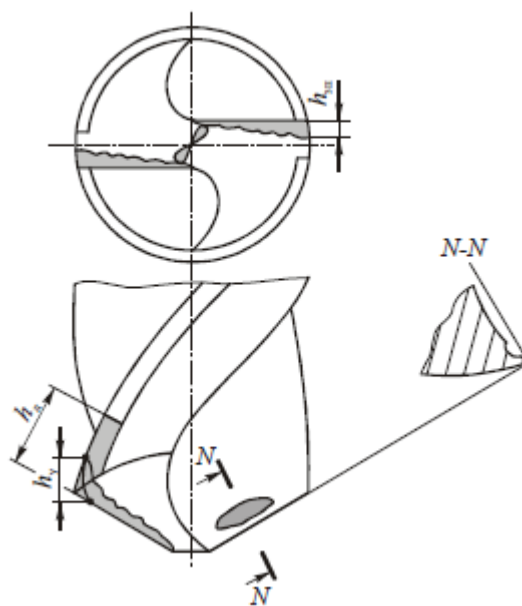


Рисунок 1.3. Виды износа на передних и задних поверхностях сверла

Наибольшую опасность составляет износ по уголкам и ленточкам сверла по причине того, что при значительном износе в процессе перетачивания сверла прибегают к стачиванию большого слоя спирального сверла. В связи с этим, в процессе сверления необходимо исключить достижение критического износа инструмента в виде оплавления уголков и затирания ленточек.

Если говорить о поперечной режущей кромке сверла, то она более износостойка в центральной части инструмента в силу низких показателей скорости трения. Значительный износ поперечной кромки инструмента влечет за собой значительное повышение силы, действующей на ось резания, износ по ленточкам же – существенное повышение показателя крутящего

момента. Интенсивность процесса износа поперечной режущей кромки характеризуется наличием нарушения режима термообработки материала, из которого изготовлен инструмент.

Влияние различных факторов на износ сверл по задним поверхностям при обработке конструкционной стали может быть выражено следующей эмпирической формулой:

$$h_{\text{зп}} = C_v^{4,85} s^{2,35} T^{1,42} \quad (1.3)$$

Исходя из составляющей формульного выражения, можно сделать вывод, что износ сверла напрямую зависит от скорости резания в большей мере и показателя подачи в меньшей мере.

В связи с этим в целях достижения износостойкости инструмента рекомендуется осуществлять работу инструмента с высоким показателем подачи и наименьшей скорости резания. Именно так достигается высокий показатель производительности процесса сверления.

Скорость резания при сверлении рассчитывают по уравнению:

$$v = \frac{C_v d^{x_v}}{T^m s^{y_v}} K_v, \quad (1.4)$$

где  $C_v$  – коэффициент, зависящий от свойств обрабатываемого материала, для конструкционной стали ( $C > 0,6\%$ )  $\sigma_B=750\text{МПа}$   $C_v= 89$  для подачи  $s<0,2$  мм/об и  $C_v= 12,4$  для подачи  $s>0,2$  мм/об; для чугуна твердостью НВ 190  $C_v= 20,6$ ;  $m$  – показатель степени для этих материалов, соответственно,  $m=0,2$  и  $0,125$ ,  $x_v=0,4$  и  $0,25$ ,  $y_v=0,6$  и  $0,5$ ;  $K_v$  – коэффициент, учитывающий влияние СОЖ, глубины сверления, способы заточки и др.

$$K_v = K_{\text{СОЖ}} K_l K_{\text{зат}} \quad (1.5)$$

В результате лабораторных исследований и производственных испытаний были выявлены признаки потери работоспособности сверл в условиях автоматизированного производства, представленные в работе [14], появление которых предупреждает, что сверла практически потеряли работоспособность, и дальнейшая их эксплуатация в любой момент может



привести к поломке инструмента. В работе [14] эти признаки определены как признаки предельного состояния сверл. Такими признаками являются:

- возникновение значительных вибраций системы СПИД при большом количестве одновременно работающих сверл одного диаметра, например, при обработке крепежных отверстий во фланцах;
- звуковые явления «щелчки», следы прилипания обрабатываемого металла к изношенным участкам ленточек;
- выдавливание металла и появление кольцевого валика на входе в отверстие;
- появление рваных заусенцев на выходной стороне отверстия.

Причиной первых трех из перечисленных выше признаков является износ ленточек сверл, а именно – вибрации системы СПИД при большом количестве одновременно работающих сверл – появляются в результате пикообразных всплесков момента резания во время «щелчка» при защемлении изношенного участка рабочей части инструмента [14]. Выдавливание кольцевого валика на входе в отверстие происходит в результате большой обратной конусности на изношенных участках ленточек.

Появление рваных заусенцев на выходной стороне отверстия происходит по причине затупления и потери режущих свойств уголков сверл, в результате чего определенная толщина обрабатываемого металла не срезается, а выдавливается при выходе сверла из отверстия. Этому способствует и размягчение обрабатываемого металла в результате возрастания температуры резания из-за большой величины износа сверл.

#### **1.4. Метод определения виброустойчивости по амплитудно-фазовой частотной характеристике**

Большое значение в области машиностроения имеет понятие определения частотного отклика (АФЧХ). Определение амплитудно-частотных характеристик необходимо для того, чтобы оценить состояние машин и их составляющих на предмет параметра устойчивости, а также определить ключевые влияния конструктивно-технологических причин на

характеристики системы, а именно динамические и статические. Получить данные характеристики возможно при помощи специальных виброустройств, которые обеспечивают постоянное воздействие силы на систему машины по синусоидальному закону в рассматриваемых показателях ряда частот. Поэтому возникающие колебания в системе способствуют выявлению динамических характеристик. Диагностику колебаний определяют при помощи виброоборудований (преобразователей), которые могут измерить показатели колебательных перемещений. Проведение таких измерений позволяет определить рабочие параметры станков, неустойчивость его элементов в процессе работы, а также повысить долговечность.

### **1.5. Причины вибрации в технологической системе процесса сверления. Методы их снижения**

Любое машиностроительное предприятие делает большие акценты по вопросам параметра устойчивости станков. Жесткость станка, наряду с вибрационной устойчивостью, являются главным фактором, определяющим его производительность. Колебания машин негативно влияют на производительность, и как следствие, приводят к уменьшению рабочих характеристик станков, таких как показатели скорость резания, глубина резания, существенно снижается износостойкость станков и их составляющих инструментов (режущих), снижается качество изготавливаемых изделий (образование волнистости детали, ее деформация).

Вибрации можно разделить на несколько видов, возникающих в процессе работы системы:

1. Внешние колебания, возникающие от близь стоящих оборудований. При этом значения колебаний при металлообработке намного выше значений возбуждающих колебаний. Такие закономерности обусловлены установкой оборудования на непрочные поверхности.

2. Вибрации, непосредственно возникающие в самой машине за счет быстрого вращения механизмом. При этом колебания возникают за счет

реверсирования центробежной силы. Значение колебаний определяется, как значение частоты вращения неустойчивого механизма цепи (об. / сек).

3. Вибрации, возникающие за счет износа (дефекта) частей механического редуктора машины. Изношенные (дефектные) детали способствуют возникновению дополнительных сил, передаваемых на рабочие инструменты станка, и как следствие, возникновению колебаний.

4. Вибрации, вызванные процессом металлообработки.

Колебания низких амплитуд под действием внешних сил стабильно присутствуют при выполнении операций по металлообработке. Такие колебания как таковой опасности не представляют, за исключением некоторых станков высокой точности. В целях уменьшения показателей вибрации предлагаются следующие мероприятия:

1. При значительном повышении скорости резания, зачастую позволяет устранить самовозбуждающиеся вибрации. При этом не всегда высокая скорость может предотвращать появления вибрации.
2. В то время как увеличение подачи и уменьшение глубины резания приводит к уменьшению вибрации, увеличение угла в плане  $\varphi$  и уменьшение радиуса кривизны вершины резца  $r$  также уменьшают вибрацию.

#### **1.6. Понятие автоколебаний в процессе резания материалов**

В процессе металлообработки на станке возникающие колебания носят вертикально-горизонтальный характер относительно плоскости. Колебания по горизонтальной составляющей появляются при обработке заготовки (детали). Колебания вертикальной составляющие проявляются от непосредственно рабочего инструмента станка. Изготавливаемая деталь и рабочий инструмент станка также могут одновременно колебаться по осям  $Oy$  и  $Ox$ . В ходе металлообработки возможно возникновение колебаний под внешними силами, а также автоколебания. В качестве примеров можно привести следующее: вибрации, возникающие при неустойчивости деталей механизмов станка и вращающейся обрабатываемой детали, пульсации жидкости в трубопроводе в машинах с гидроприводом и т.п. Мерами борьбы

с вынужденными колебаниями являются устранение причин, вызывающих возмущающее усилие.

Автоколебания представляют собой более сложное явление при металлообработке изделий. Ключевыми предпосылками к возникновению автоколебаний являются:

1. Несогласованность силы трения падающей стружки об инструмент и заготовку;
2. Неравномерное затвердевание срезаемого слоя по его толщине;
3. Неравномерность нароста, приводящая к изменению угла резания и площади поперечного сечения инструмента при металлообработке.

На параметр интенсивности автоколебаний, так называемой «высоты волны», значительное влияние оказывает характеристика обрабатываемого материала изделия, включая физико-механическую сущность, а также элементы режима резания, геометрические составляющие режущей части инструмента и степень жесткости системы ВПП.

В процессе обработки различных марок сталей, делая акцент на прочных, показатели вибрации значительно превышают показатели в сравнении, если осуществлять обработку деталей из чугуна. С ростом показателя твердости заготовки и показателя  $\sigma_B$  при обработке соответствующей детали показатели вибрации существенно становятся ниже; в случае нарастания относительного удлинения и относительного сужения показатели вибрации имеют значительный рост. В случае, если показатель скорости резания имеет динамический рост, то показатели вибрации сначала растут, а с течением времени они уменьшаются; с ростом подачи, ниже становится показатель скорости резания, в свою очередь показатель вибрации падает. В случае роста показателя глубины резания динамический рост возникает у показателя колебаний.

Параметры глубины и скорости резания значительно больше оказывают влияние на параметры вибрации, нежели параметры подачи. При росте показателя подачи параметр вибрации становится меньше и имеет

прямую зависимость (при  $s < t$ ) и, наоборот, в случае  $s > t$  показатель вибраций становится выше, если увеличить параметр подачи. Следует отметить, что интенсивность колебаний напрямую зависит от угла  $f$ , и с его ростом увеличивается соответственно интенсивность. Данная зависимость связана с сокращением параметра толщины реза и повышением его ширины, так и с ростом прижимающей в процессе сверления силы (радиальная сила)  $P_y$  в случае уменьшения угла  $f$ . Чем выше прижимающая сила, тем плотнее осуществляется сжатие между опорой станка и заготовкой. В связи с этим в процессе точения валков с низким показателем жесткости нужно применять в плане фрезы с высокими показателями угла. Помимо роста до девяноста (90) градусов угла  $f$ , в целях снижения вибрации и пробуксировки вибраций используют такие устройства как виброгасители или же люнеты. Автоколебания являются теми же незатухающими колебаниями систем, являющимися непосредственно источником возникновения колебаний, период колебаний и амплитуда же можно определить лишь отталкиваясь от свойств непосредственной системы. Данные колебания имеют возможность возникнуть как раз в тот момент, когда на исправном станке обрабатывается отбалансированная заготовка. Для появления колебаний необходим источник их возбуждения, так называемый «первичный толчок». В случае наличия источника возбуждения постоянная сила резания (в случае устойчивого процесса резания) переходит в переменную составляющую, которая подпитывает данные колебания. В силу возможных изменений параметра углов инструмента или же параметра площади реза сила резания может иметь переменный характер.

В случае, если осуществлять работу при низких показателях скорости резания, возможно появление низкочастотных вибраций, достигающих по величине до 300 Гц. Параметр частот этих колебаний приблизительно равен частотам собственных колебаний поверхности, которую осуществляется обработка. Следует отметить, что данная поверхность имеет волнистость грубого характера. Колебания с низкой частотой особо не оказывают влияние

на стойкостные параметры твердосплавных и быстрорежущих резцов, а в свою очередь, вибрации, обладающие высоким показателем частоты, наоборот, снижают эти параметры в случае твердосплавных резцов (практически в 5 раз).

Данные явления непосредственно имеют связь с ударным характером сил резания, которые, в свою очередь, способствуют выкрашиванию твердого сплава. Следует отметить, что процессы автоколебаний в процессе резания находятся в активной фазе изучения и не имеют четкого понимания. Предположительно, возможными причинами возникновения таких колебаний могут являться возможные наросты, наклеп, переменная скорость стружки и др. Общеизвестно, слой металла, находящийся перед и под резцом, подвержен пластической деформации. В случае первоначального процесса резания резец входит в заготовку, а после, за счет упрочнения металла, примыкающего к стружке, она проникает в более твердый металл и отталкивается. По итогу происходит изменение толщины реза, а также параметра силы резания. При окончательном выходе резца из металла, параметр силы резания превышает параметр силы резания в начале захода резца в заготовку. Это свидетельствует о том, что величина силы резания носит переменный характер, и как следует, усиливает параметры вибраций.

### **1.7. Методы вибродиагностики**

Одной из положительных сторон, которую можно выделить в методе вибродиагностики, заключается в возможности производить диагностику оборудования и инструментов, не прерывая их рабочий процесс. Спектрограмма, определяющая результирующие картины колебаний, включает в себя набор гармонических амплитуд, которые определяются на конкретных частотах. Для осуществления сбора и последующего анализа полученных спектрограмм необходимо оборудование специального назначения, имеющий простой характер обращения с ним для сотрудников, не специализирующихся на вибродиагностике.

Вибродиагностика имеет эффективность в том случае, если объектами диагностирования являются оборудования, имеющие элементы вращения (для определения дисбаланса), подшипники качения и гидрооборудования (для определения степени износа, электрические машины (электродвигатели) (для определения плотности крепления обмоток статора и др.), что соответствует конструкции машинное оборудование.

Существует ряд методов вибродиагностики:

1. Диагностика по общему уровню вибрации. Этот метод широко применяется в рабочей деятельности многих предприятий за счет простоты осуществления оценки тех. состояния оборудования/инструментов по общему уровню вибрационных сигналов, а также прост в применении для сотрудников предприятия, не имеющих спец. подготовку в области вибродиагностики.

Базовым критерием показателя уровней вибраций берут среднеквадратичные значения скорости (СКЗ).

Существенным недочетом представленного метода является его применение при определении дефектов на последней стадии их развития, иными словами, при проведении предаварийной диагностики оборудования или инструментов. Диагностика дефектов проводится на соответствие общего уровня вибрации нормативным уровням вибрации для определенного типа механизма. В случае превышения допустимой нормы уровня вибрационных показателей, то рассматриваемый объект, соответственно, считается неисправным.

2. Диагностика по спектральным диаграммам. Данным метод применяется в случае необходимости определения дефектов в середине процесса разработки. Метод основан на различимости уровня энергии резонансных колебаний в общей картине частотного распределения всей мощности вибросигнала. Для успешной реализации данного метода требуется специализированный анализатор спектра для определения

амплитудного спектра, так же требуется квалифицированный специалист в области вибродиагностики для осуществления анализа данных.

В ряде методических документов по вибрационным явлениям в качестве нормируемого параметра вибрации в целях осуществления контроля тех. состояния оборудования/инструмента берут среднеквадратичное значение, при этом уровень частоты варьируется от 10 до 1000 Гц. Следует отметить, что использование единичного параметра (СКЗ) для предварительной оценки состояния оборудования/инструмента существенно снижает диапазон частот.

3. Диагностика по соотношению пик/фон вибросигнала. Данный метод является наиболее эффективным в своем роде в случаях необходимости обнаружения сигнала с высокой частотой, измерения энергии импульса, а также параметра ударного импульса. Его применение способствует еще на раннем этапе определить дефекты, используя простые приборы для вибродиагностики.

Коэффициент амплитуды есть отношение пикового значения амплитуды временного сигнала к СКЗ. Главной целью осуществления расчёта пик-фактора является предоставление начальных представлений о количестве ударов во временном параметре сигналов лаборанту. Удары в основном имеют прямую связь с параметром износа зубьев, подшипников качения или же связь с кавитацией.

4. Вибродиагностика по энергетическому спектру. Суть метода заключается в предоставлении массивов данных, а именно, распределение энергии сигнала на приватной территории, по которому можно сказать о характере состояния каждого из узлов оборудования.

5. Вибрационная диагностика по автокорреляционной функции (АКФ). Благодаря автокорреляционной функции  $R_y(\tau)$  возможно точно определить влияние мгновенного значения амплитуды колебаний в необходимый момент времени от его более ранних значений:



$$R_y(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T s(t)s(t+\tau)dt, \quad (1.6)$$

где  $s(t)$  – вибрационный сигнал в момент времени  $t$ ;

$s(t+\tau)$  – сдвинутая копия сигнала на времена  $\tau$ ;

$T$  – период колебаний.

АКФ смешанного сигнала определяется по формуле

$$R_y(\tau) = R_1(\tau) + R_m(\tau), \quad (1.7)$$

где  $R_y(\tau)$  – периодическая функция с частотой, соответствующей периодической составляющей  $s_1(\tau)$ ;

$R_m(\tau)$  – функция, соответствующая составляющей шумового фона (помеха).

Для диагностического параметра, определяющего техническое состояние объектов, в данном случае значение определяется

$$\delta = R(0) - \frac{\sum_{k=1}^n R(kT)}{N}, \quad (1.8)$$

где  $R(0)$  – значение АКФ при  $\tau = 0$ ;

$R(kT)$  – значение АКФ при  $\tau = kT$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ );

$N$  – число усредненных пиковых значений АКФ.

6. Диагностика по мерцающим шумам, которые возникают в медленно изнашивающихся (стареющих) оборудованьях/инструментах, заключается в диагностировании по инфранизким колебаниям на частотах порядка от 0,01 до 60 Гц, амплитуда которых пропорциональна  $1/f$ . Данный параметр необходим для осуществления диагностики дефектов кинематических пар на ранних этапах. Но имеются некоторые ограничения, а именно, инфранизкими частотами.

7. Диагностика методом акустической эмиссии – анализ СВЧ колебаний (0,1–10 МГц), возникающих при повреждении металлоконструкции.

8. Диагностика по кепструму диагностического сигнала. Данный метод необходимо применять в том случае, когда отсутствует четкая ясность относительно изменения состояния испытуемого оборудования и не распознается по амплитудному спектру вибрации. Недостатком метода является аппаратная сложность, преимуществом является высокое разрешение.

Эффективным методом обнаружения дефектов на ранних стадиях за счет помехозащищенности и, соответственно, большей достоверности является метод диагностики по спектрам огибающей.

Параметры спектра позволяют определить свойства случайных колебаний. Наличие амплитудной модуляции из-за дефектов узлов трения проявляется в огибающих амплитуд и частот гармонических составляющих.

В бездефектных узлах трения силы трения и уровень возбуждаемых ими случайных колебаний стабильны во времени. Гармонические составляющие в спектре огибающей колебаний таких узлов отсутствуют. Если силы трения и вибрации приобретают амплитудную модуляцию из-за дефекта, то частота модуляции определяет вид, а глубина модуляции определяет величину дефекта. В спектре огибающей они определяются частотами и амплитудами появившихся гармонических составляющих.

### **1.8. Измерительные приборы для определения вибраций**

На практике имеется 2 принципа определения вибрационных параметров при их регистрации: динамический и кинематический.

Динамический принцип реализуется посредством измерения контролируемого объекта по измерению координаты точки относительно выбранной зафиксированной СК. Датчики, за счет которых реализуется этот принцип, представляют из себя инерционные устройства и предназначены для измерения абсолютных параметров вибрационных характеристик.

По принципу действия датчики можно разделить на два типа: параметрические и генераторные. В первом типе датчиков происходит изменение электрический параметр преобразовательного элемента под действием измеряемой механической величине, модулируя параметры электрического напряжения или тока, которые создаются внешними источниками.

Второй же тип датчиков осуществляет прямые преобразования величину механической энергии в электрическую.

При осуществлении диагностики станков и их механизмов, включая режущие инструменты, через вибрационные параметры наиболее распространенными являются пьезоэлектрические датчики (акселерометры).

Эти датчики относятся к классу датчиков инерционного генератора. Принцип действия датчиков основывается на генерации электрических зарядов на электродах пьезоэлемента под действием сил инерции, которые возникают в результате вибрации оборудования/инструмента, с установленным к нему пультом с дистанционным управлением (на прямом пьезоэффекте).

Датчик состоит следующих конструктивных элементов: 1 – корпус; 2 – инерционный элемент; 3 – токосъемная пластина; 6 – пьезоэлемента; 7 – упругий элемент. Датчик фиксируется непосредственно на поверхности объекта в точке измерения вибрационных параметров по оси чувствительности датчика, например, с помощью резьбового стержня 5. Конструктивные элементы представлены на Рисунке 1.4.

В результате продольной деформации пьезоэлемента на его электродах 4 возникает электрический заряд.

В качестве примера пьезоэлектрического датчика представлен малогабаритный пьезоэлектрический акселерометр модели АК3165, который необходим для осуществления измерений интенсивных вибрационных и ударных ускорений (Рисунок 1.5, Таблица 1).

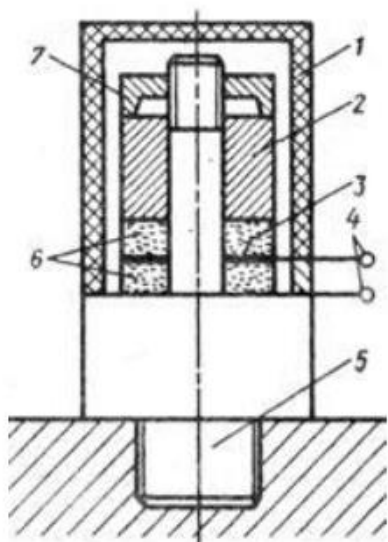


Рисунок 1.4. Схема акселерометра



Рисунок 1.5. Акселерометр АК3165

Таблица 1 – Характеристики акселерометра АК3165

Коэффициент преобразования, пКл·м <sup>-1</sup> ·с <sup>2</sup>	2,0
Максимальное измеряемое ускорение, м·с <sup>2</sup>	10000
Рабочий диапазон температур, °С	От минус 40 до 125
Частота установочного резонанса, кГц	50
Рабочий диапазон частот (10 %), Гц	1–15000
Электрическая емкость, нФ	9,0
Крепление резьбовой шпилькой	M5
Габаритные размеры, мм	S14x19
Масса (без кабеля), г	12,0

Универсальный регистратор-анализатор спектра типа ВС-311 необходим в целях осуществления измерений, регистрации и анализа данных вибрационных величин, определяемых с помощью датчиков, подключенных к прибору.

Аанлизатор позволяет:

- осуществлять регистрацию, накопление и передачу данных вибропараметров с датчиков вибрации.
- проводить исследованияна предмет текущего состояния оборудования и их составляющих, включая режущие инструменты и т.п.

- определять дефекты в машиностроительных оборудовании, их механизмов, включая режущие инструменты, подшипники, шестерни и др.
- балансировать роторы машин и механизмов.

Измеритель шума и вибрации ВШВ-003-М3:

Данный измеритель является малогабаритным портативным измерительным прибором, необходимым для осуществления измерений, анализа параметров шума и вибраций в производственных и полевых условиях работы оборудования. Прибор фиксирует источники шума, возникновения вибраций и их характеристики.

Прибор оборудован встроенными фильтрами, которые позволяют осуществлять измерение, определение нормируемых параметров, параметров шума и вибраций в соответствии с требованиями санитарных норм и норм безопасности труда. Прибор ВШВ-003-М3 комплектуется пьезоэлектрическими преобразователями вибрации.

Виброметр ВВМ-311 - переносной прибор с цифровым индикатором, необходимый для измерения параметров вибрации (виброускорение, виброскорость, виброперемещение) работающего оборудования, машин и других объектов в различных условиях, оснащенный датчиками вибрации.

Устройство виброизмерительное портативное СМ-3001 представляет из себя портативный виброприемник, отличающийся простотой и компактностью с возможностью автоматизированной диагностики. С помощью прибора осуществляется измерение вибрации и сбор данных, виброрегулировка оборудования, балансировка вращающихся частей.

Прибор хорошо зарекомендовал себя при проведении вибродиагностики колесных пар электропоездов, технологического оборудования газокompрессорных и нефтеперекачивающих станций магистральных трубопроводов: он легкий, прочный и простой в эксплуатации, позволяет проводить до 300 измерений в смену.

Измеряемыми параметрами являются форма сигнала и его спектр, огибающая спектра.

Измерительный комплекс К-5101 представляет собой многоканальный, компьютеризированный измерительный комплекс, основанный на технологии виртуальных приборов на основе вычислительных возможностей современных компьютеров, технологий компании National Instruments.

С помощью комплексов измеряют и регистрируют параметры вибрации подвижных узлов механических конструкций.

Универсальный акустический дефектоскоп АД-60К предназначен для акустического контроля изделий из материалов с высоким затуханием.

Благодаря своим характеристикам устройство прочно заняло свою нишу:

- сигнал с преобразователя и его спектр отображаются одновременно с возможностью отдельного усиления во временной и спектральной областях;
- сохранение и вызов настроек дефектоскопа, просмотр результатов на экране дефектоскопа.

Цифровой ультразвуковой дефектоскоп УД2В-П45/46 предназначен для обнаружения дефектов полуфабрикатов, готовых изделий и сварных соединений, измерения глубины и координат их залегания, измерения толщины, измерения скорости распространения и затухания ультразвуковых колебаний в материале.

## **2. Определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики**

В задачи исследования входит испытание быстрорежущих спиральных сверл на определение предельно допустимого износа.

Определение предельно допустимого износа будет производиться путем анализа вибраций, возникающих в процессе сверления.

Подробнее рассмотрим основные параметры и требования, необходимые для качественного проведения эксперимента.

### **2.1. Оборудование, используемое для выполнения исследования**

Для выполнения операции сверления использовался вертикально-сверлильный станок марки 2А125 (Рисунок 2.1.).



Рисунок 2.1. Вертикально-сверлильный станок 2А125

В качестве рабочего инструмента использовалось спиральное сверло диаметром  $d=10$  мм по ГОСТ 10903-77, изготовленными из быстрорежущей стали Р6М5, изображенное на Рисунке 2.2.



Рисунок 2.2. Общий вид спирального сверла диаметром  $d=10$  мм по ГОСТ 10903-77, изготовленного из быстрорежущей стали Р6М5

В качестве заготовки, на которой осуществлялся процесс сверления, использовался стальной прокат цилиндрической формы диаметром равным 100 мм и высотой 150 мм, изготовленный из Сталь 45. Форма заготовки представлена на Рисунке 2.3.



Рисунок 2.3. Общий вид обрабатываемой заготовки



В качестве средства измерения, необходимого для определения показателей вибраций, использовался виброизмерительный прибор «АГАТ-М». Для получения параметров вибрации (вибрационных сигналов) применялся пьезоакселерометр АС102-1А, входящий в комплект виброизмерительного оборудования. Датчик получения вибрационных сигналов устанавливался на магнит для пьезоакселерометра, который, в свою очередь, обеспечивает усилие отрыва не менее 50 Н. Используемый комплект оборудования для определения вибраций представлен на Рисунке 2.4.



Рисунок 2.4. Комплект поставки виброизмерительного прибора марки АГАТ-М

## 2.2. Определение схемы проводимых исследований

Для получения точных результатов исследования необходимо определить наиболее точные режимы резания. В качестве определения оптимального режима резания в рамках данного исследования по определению предельно допустимого износа руководствуемся следующими рекомендуемыми параметрами, согласно Справочнику технолога-машиностроителя.

Согласно заявленным входным данным эксперимента величина перемещения инструмента относительно заготовки или заготовки относительно инструмента в направлении подачи за один оборот устанавливаем равной 0,10 мм/об.

Параметры скорости вращения шпинделя имели переменное значение в ходе проводимого исследования и составили следующие значения: 392 об/мин; 545 об/мин; 680 об/мин; 960 об/мин;

Согласно заявленным входным данным эксперимента величина среднего значения периода стойкости устанавливаем равным:  $T = 25$  мин.

Схема проведения эксперимента представлена на Рисунке 2.5. и выглядит она следующим образом:

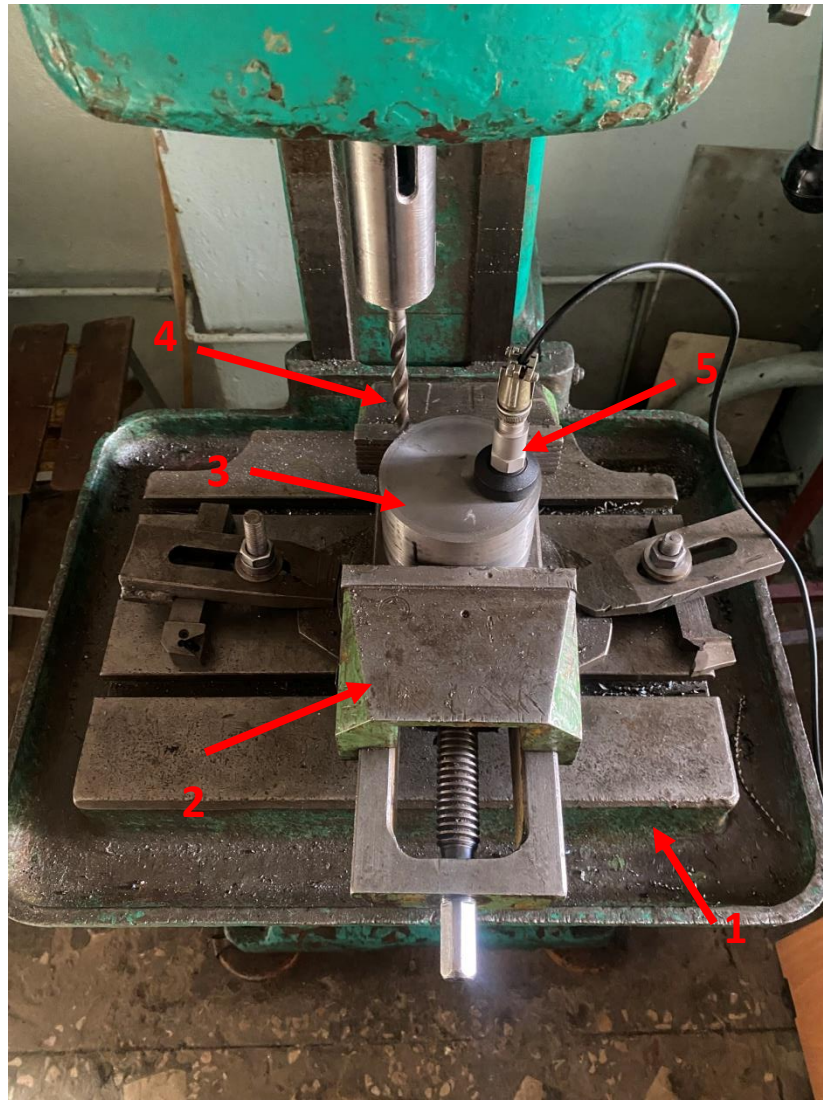


Рисунок 2.5. Основные элементы, используемые при эксперименте на вертикально-сверлильном станке 2A125:

- 1 – Стол станка; 2 – Тисы; 3 – Заготовка; 4 – Спиральное сверло;  
5 – Измерительный датчик;

На рабочую поверхность станка (стол станка) (1) устанавливается специальные тисы (2), стягивающий заготовку с двух сторон, для исключения возможного движения заготовки в ходе сверления. Заготовка (3), на которой будет осуществляться процесс сверления, плотно стягивается в зажиме, и в ходе эксперимента регулируется для получения новых отверстий. В пазы шпинделя устанавливается объект данного исследования – спиральное сверло (4) для осуществления последующих операций сверления. Для считывания показателей вибрации измерительный датчик (5)

фиксируется в плоскости заготовки, а именно на рабочей поверхности заготовки.

В ходе эксперимента предполагалось произвести замеры вибрационных параметров в процессе сверления отверстий на разных режимах резания. Получение показателей вибрации с прибора осуществлялось при получении:

- 1) 1-го отверстия в заготовке;
- 2) 150 отверстия в заготовке;
- 3) 210-го отверстия в заготовке.

Промежуточные операции сверления осуществлялись на дополнительной заготовке, не учтенной в данном исследовании. Испытания сверла проводились до достижения стойкости в 25 мин (эквивалентно 150 отверстий). Для адекватности исследования было принято решение провести эксперимент до 35 мин непрерывной работы инструмента (эквивалентно 150 отверстий). Процесс сверления каждого отверстия исключал сквозное прохождение инструмента в заготовке, и, следовательно, осуществлялось до окончания считывания виброхарактеристик измерительным прибором. В процессе испытаний визуально контролировалось состояние сверла.

### **2.3. Анализ полученных результатов исследования**

В ходе анализа полученных результатов были получены диаграммы, отражающие параметры вибраций в процессе сверления заготовки (изменение величины и амплитуды виброперемещений) при различных режимах резания на диапазоне считываемых частот от 2 до 100 Гц. На основании этого предоставляется возможность судить об изменениях состояния режущих свойств спирального сверла и, по возможности, использования этих данных в прогнозе катастрофической потери инструментом работоспособности.

Рассмотрим изменение пиковых значений амплитуды вибросигнала на частоте 25 Гц на различных значениях скорости резания (12,3 м/мин, 17,1 м/мин, 21,4 м/мин, 30,2 м/мин) и подаче 0,10 мм/об и на разных стадиях наработки инструмента. Результаты представлены на Рисунке 2.6.

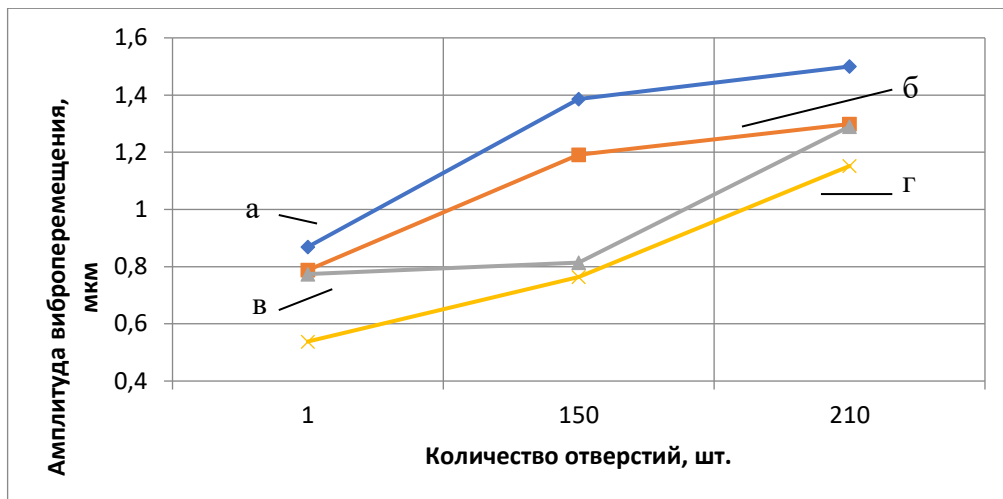


Рисунок 2.6. Изменение величины амплитуды вибросигнала при разных значениях скорости резания на частоте 25 Гц: а – 12,3 м/мин; б – 17,1 м/мин; в – 21,4 м/мин; г – 30,2 м/мин

Как видно из представленной диаграммы, величины виброперемещений на 3-х этапах снятия показателей с ростом скорости резания пропорционально падают. А что касается самого процесса износа, то показатели амплитуд виброперемещения при четырех рассматриваемых режимах резания растут пропорционально с ростом количества просверленных отверстий.

Наглядную картину можно увидеть на диаграммах изменения показателей виброперемещения на диапазоне частот от 2 до 35 Гц при скоростях резания:

- 1) При скорости резания = 12,3 м/мин показана на Рисунке 2.7.:

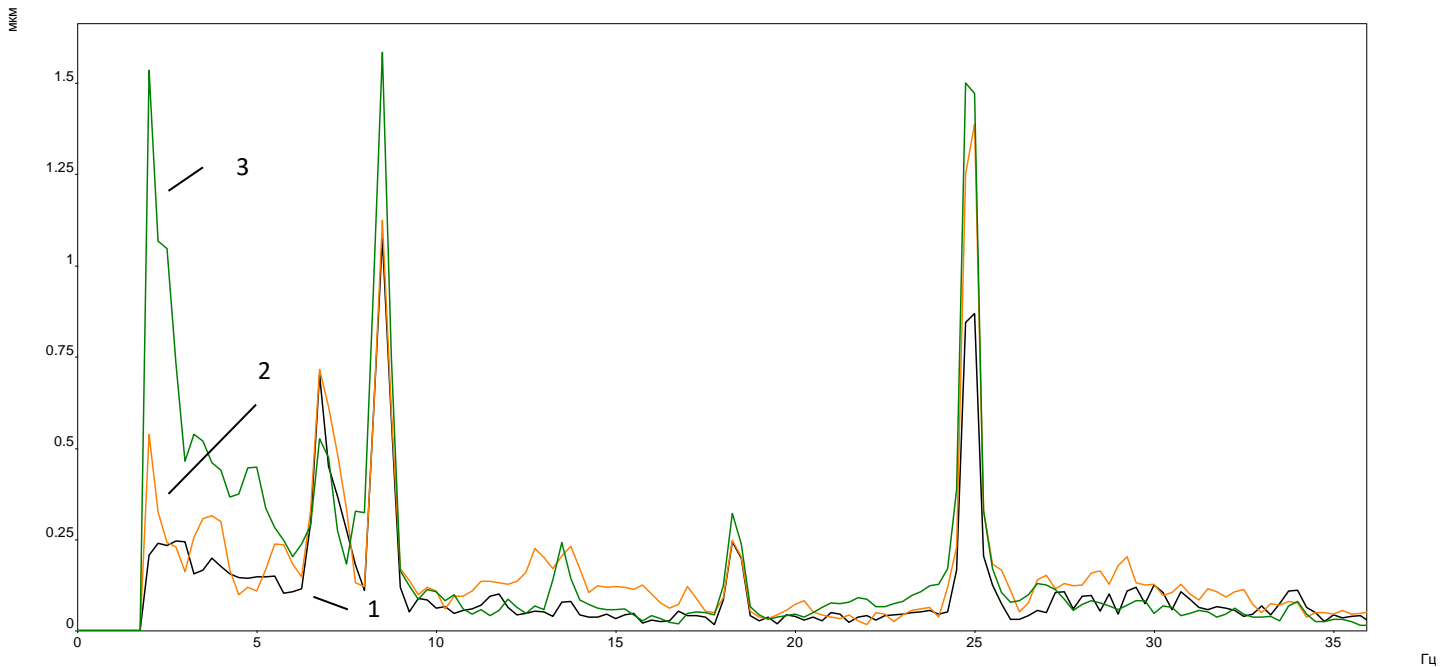


Рисунок 2.7. Изменение величин спектральных составляющих вибросигнала при скорости резания равной 12,3 м/мин на диапазоне частот от 2 до 35 Гц: 1 – просверлено 1 отверстие; 2 – просверлено 150-ое отверстие; 3 – просверлено 210-ое отверстие

2) При скорости резания = 17,1 м/мин показана на Рисунке 2.8.:

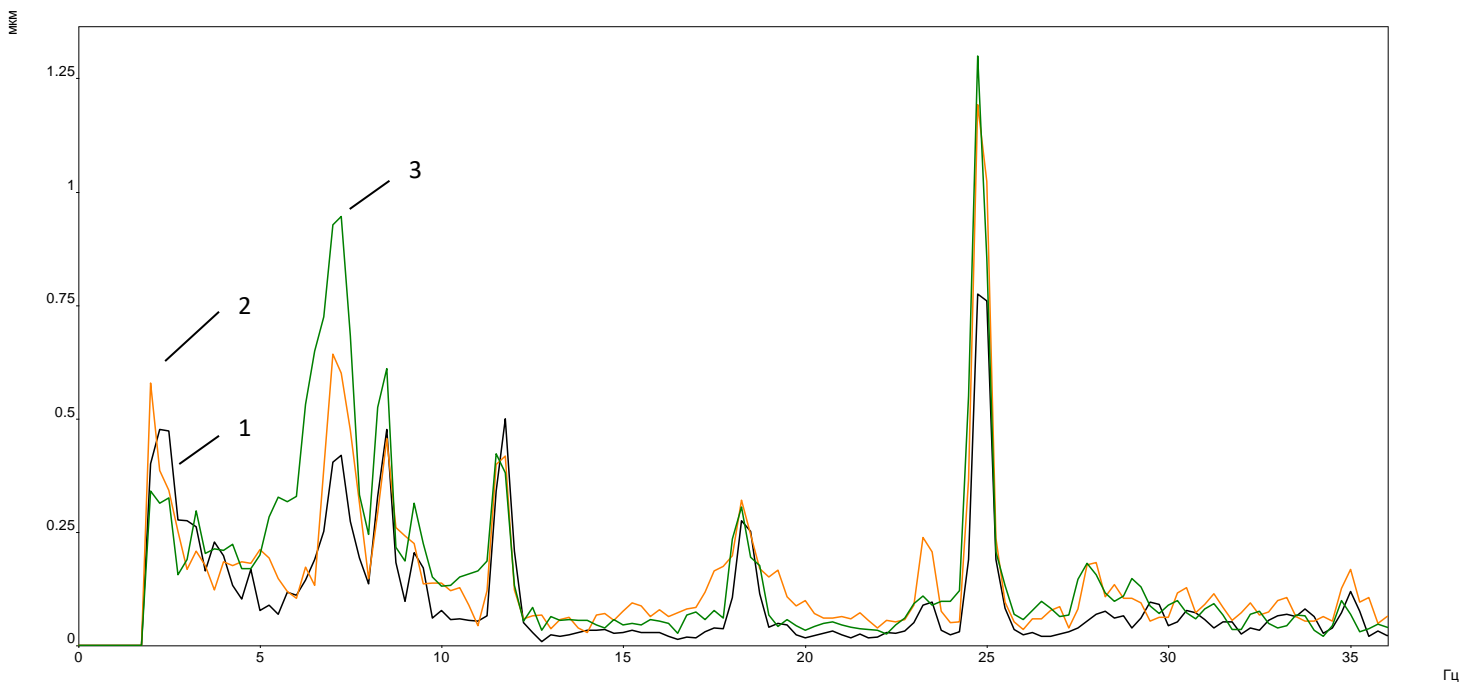


Рисунок 2.8. Изменение величин спектральных составляющих вибросигнала при скорости резания равной 17,1 м/мин на диапазоне частот от 2 до 35 Гц: 1 – просверлено 1 отверстие; 2 – просверлено 150-ое отверстие; 3 – просверлено 210-ое отверстие

3) При скорости резания = 21,4 м/мин показана на Рисунке 2.9.:

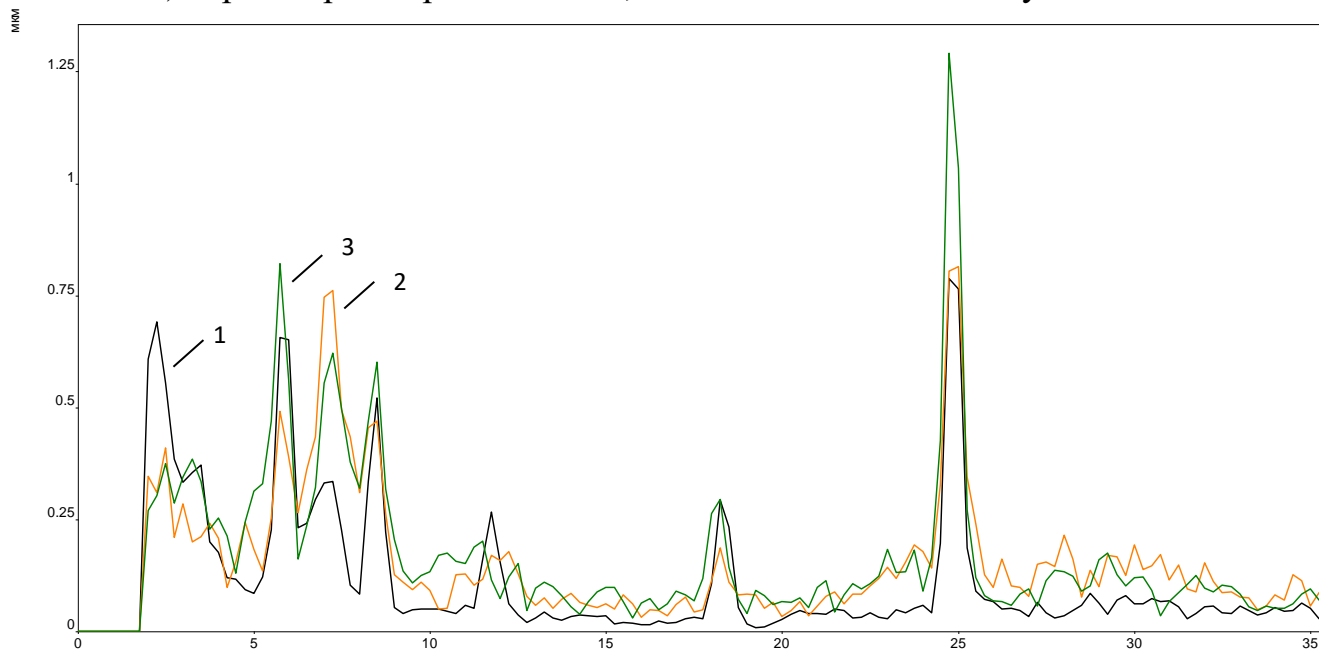


Рисунок 2.9. Изменение величин спектральных составляющих вибросигнала при скорости резания равной 21,4 м/мин на диапазоне частот от 2 до 35 Гц: 1 – просверлено 1 отверстие; 2 – просверлено 150-ое отверстие; 3 – просверлено 210-ое отверстие

4) При скорости резания = 30,2 м/мин показана на Рисунке 2.10.:

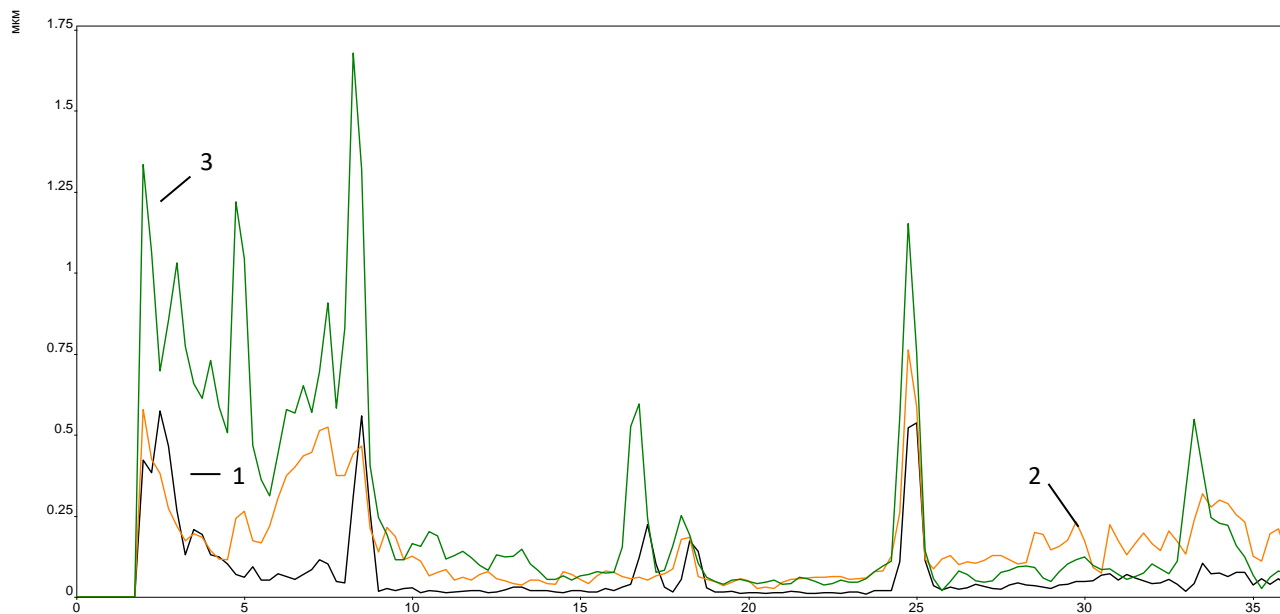


Рисунок 2.10. Изменение величин спектральных составляющих вибросигнала при скорости резания равной 30,2 м/мин на диапазоне частот от 2 до 35 Гц: 1 – просверлено 1 отверстие; 2 – просверлено 150-ое отверстие; 3 – просверлено 210-ое отверстие

Некоторое снижение величины виброперемещений в зависимости от характера износа можно связать с приработкой заточенного инструмента.

Вышеприведенные доводы говорят о том, что такой динамический параметр процесса резания, как вибрация хорошо реагирует на изменение режущих свойств инструмента в процессе его работы. И может, с успехом, быть использован для диагностики состояния геометрических и размерных показателей режущей части как исследуемого в работе сверла, так и других режущих инструментов, работающих в схожих условиях. В ходе проведения экспериментов, проведенных в рамках данной работы, получены результаты, которые свидетельствуют о том, что процесс сверления сплошного материала сопровождается выразительными динамическими явлениями, проявляющиеся в виде виброакустических процессов и сил резания. Одновременно установлено, что изменение состояния режущих свойств инструмента, незначительного или крупного, приводит к изменению как среднего значения и амплитуды виброперемещений, так и величины силовых показателей процесса резания. Это позволяет констатировать достаточно высокую чувствительность вышеприведенных параметров к изменению режущих свойств, а также состоянию режущего инструмента и пригодность их для решения диагностических задач в процессе снятия припуска с поверхностей заготовки при производстве деталей в машиностроении.



## **Заключение**

1. В ходе выполнения выпускной квалификационной работы был выполнен литературный обзор по теме вибрации и причины их возникновения, а также рассмотрены ключевые методы вибродиагностики оборудования и режущих инструментов, используемых в машиностроительной отрасли.

2. Определены параметры резания и условия для проведения испытания по достижению износа спирального сверла в процессе сверления заготовки.

3. Проведен ряд испытаний по определению вибрационных характеристик вертикально-сверлильного станка 2A125, проявляющихся в процессе работы оборудования, при различных параметрах резания. Показатели вибропараметров определялись при помощи виброизмерительного прибора марки АГАТ-М по значениям виброперемещения в диапазоне частот от 2 до 35 Гц.

4. В ходе анализа полученных результатов была определена явная зависимость величины виброперемещения от степени износа спирального сверла на разных скоростях резания, а именно при скоростях резания 12,3 м/мин, 17,1 м/мин, 21,4 м/мин и 30,2 м/мин: с ростом параметра износа спирального сверла увеличивались параметры виброперемещения.

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>		<b>ФИО</b>	
4АМ11		Губайдуллин Денис Маратович	
<b>Школа</b>	ИШНПТ	<b>Отделение (НОЦ)</b>	Отделение материаловедения
<b>Уровень образования</b>	магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

Тема ВКР:

**Определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики**

**Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:**

<p><b>Введение</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения.</li> <li>– Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации</li> </ul>	<p><i>Объект исследования:</i> <u>спиральные сверла;</u>  <i>Область применения:</i> <u>Машиностроительное производство;</u>  <i>Рабочая зона:</i> <u>Производственное помещение;</u>  <i>Размеры помещения:</i> <u>10х16 метров;</u>  <i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны:</i> <u>Вертикально-сверлильный станок – 1 шт.;</u>  <u>Виброанализатор – 2 шт.;</u>  <i>Рабочие процессы, связанные с объектом исследования, осуществляющиеся в рабочей зоне:</i> <u>Сверление глубоких отверстий, измерение параметров вибрации, замер износа сверла</u></p>
<p>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</p>	
<p><b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при эксплуатации в машиностроении:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022);</li> <li>- ГОСТ 12.2.049-80 ССБТ. Оборудование производственное. Общие эргономические требования;</li> <li>- ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования;</li> <li>- ГОСТ 12.3.025-80ССБТ. Обработка металлов резанием. Требования безопасности;</li> </ul>
<p><b>2. Производственная безопасность при эксплуатации в машиностроении:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– Анализ выявленных вредных и опасных производственных факторов</li> <li>– Расчет уровня опасного или вредного производственного фактора</li> </ul>	<p><b>Вредные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- отклонение показателей микроклимата;</li> <li>- повышенный уровень шума;</li> <li>-отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения;</li> <li>- производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека;</li> </ul> <p><b>Опасные факторы:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>-неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования) части твердых объектов;</li> <li>- движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции);</li> <li>- производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей</li> </ul>

	<p>электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий, включая действие молнии и высоковольтного разряда в виде дуги;</p> <p><b>Средства коллективной и индивидуальной защиты:</b> осветительные приборы, респираторы, защитные костюмы, перчатки, защитные очки, противошумные наушники, вкладыши;</p> <p><b>Расчет:</b> расчет системы искусственного освещения</p>
<b>3. Экологическая безопасность при эксплуатации в машиностроении:</b>	<p><b>Воздействие на селитебную зону:</b> не оказывается</p> <p><b>Воздействие на литосферу:</b> проникновение в грунт отходов используемых материалов (металлическая стружка), смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ).</p> <p><b>Воздействие на гидросферу:</b> проникновение отходов СОЖ в подземные воды, загрязнение водоемов.</p> <p><b>Воздействие на атмосферу:</b> распространение отходов СОЖ (токсичных веществ) по воздуху, что приводит к нарушению экологического равновесия в удаленных местах.</p>
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при эксплуатации в машиностроении:</b>	<p><b>Возможные ЧС:</b> пожар, сильные морозы;</p> <p><b>Наиболее типичная ЧС:</b> пожар</p>
<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
14.03.2023	

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Антоневич Ольга Алексеевна	к.б.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Губайдуллин Денис Маратович		

### **3. Социальная ответственность**

#### **Введение**

В данном разделе рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности на рабочем месте оператора станка в процессе сверления заготовки спиральным сверлом из быстрорежущей стали. Приведены организационные мероприятия по компоновке рабочей зоны. Также рассмотрены вопросы производственной и экологической безопасности, безопасности при чрезвычайной ситуации.

Исследовательская работа посвящена определению предельно допустимого износа спирально сверла методом вибродиганостики. Исследование проводилось путем выполнения операций сверления заготовки на вертикально-сверлильном станке.

Сущность процесса сверления основана на сочетании двух одновременно действующих равномерных движений резания - вращательного (главное движение) и поступательного (движение подачи). Вращательное движение выполняется режущим инструментом, в данном случае сверло, а поступательное движение подачи сообщается заготовке столом станка.

Результаты проведенного исследования могут применяться как научно-исследовательскими, так и производственными подразделениями машиностроительного профиля.

Исследование проводилось на базе НИ ТПУ. В ходе экспериментальных исследований использовался Обрабатывающий центр (производственное помещение размером 10x16 метров), расположенный в г. Томск, 16-й корпус ТПУ, Ом. В качестве оборудования, используемых при проведении исследования, эксплуатировались: Вертикально-сверлильный станок и два датчика виброанализатора для снятия показателей вибрации.

### **3.1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения**

В России для регулирования правил охран труда используется Трудовой кодекс Российской Федерации (далее – ТК РФ).

На основании ТК РФ режим работы оператора станка 40 часовая рабочая неделя при пятидневном режиме работы. Согласно ТК статье Обеденный перерыв составляет с 12:00-13:00. Оплата труда повременная. Компенсации за вредные условия труда отсутствуют. Социальное страхование в размере 5%, пенсионное обеспечение в размере 22% от месячной заработной платы.

Для обеспечения комфортности, эффективности и безопасности рабочего процесса необходимо, чтобы рабочее место соответствовало требованиям эргономики.

Основным рабочим местом оператора станка является производственный участок, на котором находится сверлильный станок.

К производственному оборудованию (в данном случае сверлильный станок), на котором производится работа, устанавливаются следующие эргономические требования, регламентированные в ГОСТ 12.2.049-80:

1. Входящие в конструкцию производственного оборудования специальные технические и санитарно-технические средства (ограждения, вентиляторы и др.) не должны затруднять выполнение трудовых действий.

2. Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать такие физические нагрузки на работающего, при которых энергозатраты организма в течение рабочей смены не превышали бы 1046,7 кДж/ч (250 ккал/ч).

3. Конструкция производственного оборудования должна обеспечивать возможность удобства выполнения трудовых действий с применением средств индивидуальной защиты (перчатки, защитные очки и др.).

Работа со сверлильным станком происходит в положении стоя. Основная доля работ будет производиться без наклона оператора, за пультом

управления станка. Высота рабочей поверхности должна быть 920мм как для тяжелой работы. Около станка на полу должен быть деревянный трап на всю длину рабочей зоны, а по ширине не менее 0,6 м от выступающей части станка. Для обслуживания станков необходим доступ к ним со всех сторон. Для обеспечения удобного, возможно близкого подхода к станку должно быть предусмотрено пространство для стоп размером не менее 150 мм по глубине, 150 мм по высоте и 530 мм по ширине [5].

Согласно требованиям ГОСТ 12.3.025-80 рабочее помещение, в котором происходит операция сверления, должно быть оборудовано вентиляцией для проветривания помещения и вывода паров СОЖ и мелкой стружки, взвешенной в воздухе.

### 3.2. Производственная безопасность

При анализе процесса экспериментов выявлены вредные и опасные факторы, которые могут возникнуть при разработке, изготовлении и эксплуатации детали, приведенные в Таблице 2.

Таблица 2 - Классификация вредных и опасных факторов

Факторы (ГОСТ 12.0.003- 2015)	Нормативные документы
Отклонение показателей микроклимата	СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания  ГОСТ 12.1.005-88 ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
Повышенный уровень шума	ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
Отсутствие или недостатки необходимого искусственного освещения	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95*
Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.

<p>Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие (например, острые кромки, заусенцы и шероховатость на поверхностях заготовок, инструментов и оборудования) части твердых объектов;</p>	<p>ГОСТ 12.3.002-2014 ССБТ. Процессы производственные. Общие требования безопасности.</p>
<p>Движущиеся (в том числе разлетающиеся) твердые объекты, наносящие удар по телу работающего (в том числе движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; передвигающиеся изделия, заготовки, материалы; разрушающиеся конструкции);</p>	<p>ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.</p>
<p>Производственные факторы, связанные с электрическим током, вызываемым разницей электрических потенциалов, под действие которого попадает работающий</p>	<p>ГОСТ 12.1.045-84 ССБТ. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.</p>

### 3.2.1. Анализ опасных и вредных производственных факторов

#### Отклонение показателей микроклимата

Микроклимат в производственных условиях определяется следующими параметрами:

- 1) температура воздуха;
- 2) относительная влажность воздуха;
- 3) скорость движения воздуха.

Основными причинами отклонений показателей микроклимата от нормы являются станки. А именно, работающие приводы подач и шпинделя.

Также на отклонение параметров микроклимата влияет выделение тепла в процессе резания заготовки.

Для обеспечения оптимальных и допустимых показателей микроклимата в холодный период года применяются средства защиты рабочих мест от остекленных поверхностей оконных проемов, чтобы не было охлаждения, в частности используются жалюзи. В теплый период года предусмотрена защита от попадания прямых солнечных лучей. Также в помещении имеются кондиционеры, для поддержания необходимых условий.

Согласно СанПиН 1.2.3685-21 работы делятся на три категории тяжести на основе общих энергозатрат организма. Сложность работ операторов станков относится к категории легкая – 1б. К категории 1б относятся работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся некоторым физическим напряжением. Оптимальные и допустимые показатели температуры, относительной влажности и скорости движения воздуха в рабочей зоне производственных помещений должны соответствовать требованиям ГОСТ 12.1.005-88. Значения показателей приведены в Таблице 3.

Таблица 3 – Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работы	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	Температура воздуха, °С
Холодный	Легкая – 1б	15-75	≤0,1	19-24
Теплый	Легкая – 1б	15-75	≤0,1	20-28

Одними из основных мероприятий по оптимизации микроклимата и состава воздуха в производственных помещениях являются обеспечение надлежащего воздухообмена и отопления, тепловая изоляция нагретых поверхностей оборудования, воздухопроводов и гидротрубопроводов.

### **Недостаточная освещенность рабочей зоны**

Крайне важно иметь адекватные условия труда во время работы, и поэтому освещение рабочей зоны является важнейшим аспектом обеспечения того, чтобы человек чувствовал себя комфортно на работе. Освещение – один из самых важных факторов, который должен учитывать работодатель, поскольку плохое освещение может привести к усталости и повысить психологическое и физическое напряжение.

Естественный свет получается от солнца, а также относится к любому свету, который рассеивается естественным образом. Обычно он варьируется



в зависимости от времени суток, месяца года, местоположения и региона, в котором он излучается. Искусственное освещение получают от электрических источников. Когда естественного освещения недостаточно, используется искусственное освещение. Использование как естественного, так и искусственного, света приводит к комбинированному источнику света.

Согласно СП 52.13330.2016 освещенность в помещении должна быть не менее 300 Лк. Размер рабочего помещения составляет 10x16x3,5м. Также на станке предусмотрены лампы освещения. Помещение с малым запылением, коэффициент запаса 1,5.

Для помещения выбрана система общего освещения с люминесцентными светильниками ОД. В светильнике установлено 2 лампы мощностью каждая. Габаритные размеры светильника составляют 933x204x156мм.

Расчеты искусственного освещения рабочей зоны работника будут даны далее в соответствии с методическими указаниями «Расчет искусственного освещения».

При размещении светильников учитывались следующие параметры. Высота помещения( $H$ ), которая составляет 3,5м. Расстояние светильников от перекрытия(свес),  $h_c$ , принимается 0,2м. Высота рабочей поверхности над полом,  $h_{рп}$ , принимается 1м.

Формула (3.1) определяет расчетную высоту размещения светильников над рабочей поверхностью ( $h$ ):

$$h = H - h_{рп} - h_c = 3,5 - 1 - 0,2 = 2,3 \text{ м}, \quad (3.1)$$

где:

$H$  – высота помещения;

$h_{рп}$  – расстояние между рабочей поверхностью стола и полом;

$h_c$  – расстояние между источником света и потолком.

Расстояние  $L$  между светильниками определяется по формуле (3.2):

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,3 = 3,2 \text{ м}, \quad (3.2)$$

Где  $\lambda$  - интегральный критерий расположения светильников, который равен 1,4 для светильников типа ОД.

Количество рядов:

$$n_{\text{ряд}} = \frac{B - \frac{2}{3}L}{L} + 1 = \frac{10 - \frac{2}{3} \cdot 3,2}{3,2} + 1 = 3,5 = 3,$$

Количество светильников:

$$n_{\text{св}} = \frac{A - \frac{2}{3}L}{(l_{\text{св}} + 0,5)} + 1 = \frac{16 - \frac{2}{3} \cdot 3,2}{(0,933 + 0,5)} + 1 = 10,667 = 10,$$

Где:

$A$  – длина комнаты;

$B$  – ширина комнаты;

$l_{\text{св}}$  – длина светильника;

Общее количество светильников:

$$n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 3 \cdot 10 = 30$$

Светильники размещают в 3 ряда. В каждом ряду следует установить 10 светильников типа ОД мощность 30Вт и длиной 933 мм. Расстояние между светильниками 500мм. На Рисунке 15 изображен план помещения с размещением светильников. Так как в светильнике 2 лампы, то общее число ламп составляет 60.

Формула (3.3) определяет индекс помещения ( $i$ ):

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{160}{2,3(16+10)} = 2,7, \quad (3.3)$$

где:

$S$  – площадь помещения;

$h$  – высота размещения светильников;

$A$  – длина комнаты;

$B$  – ширина комнаты.

Коэффициент использования светового потока:

$$\eta = 0,61$$

Потребный световой поток:

$$\Phi = \frac{E_n \cdot S \cdot K_s \cdot Z}{N_l \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 160 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{60 \cdot 0,61} = 2164$$

Выбираем лампу ЛД 40Вт 2300лм. Проверка выполнения условия освещенности:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд}} - \Phi_{\text{л.расч}}}{\Phi_{\text{л.станд}}} \leq +20\%$$

$$-10\% \leq \frac{2300 - 2164}{2300} \leq +20\%$$

$$-10\% \leq 0,059\% \leq +20\%$$

Общая мощность освещения:

$$P = 60 \cdot 40 = 2400 \text{ Вт}$$

По расчетам предлагается следующий план освещения:

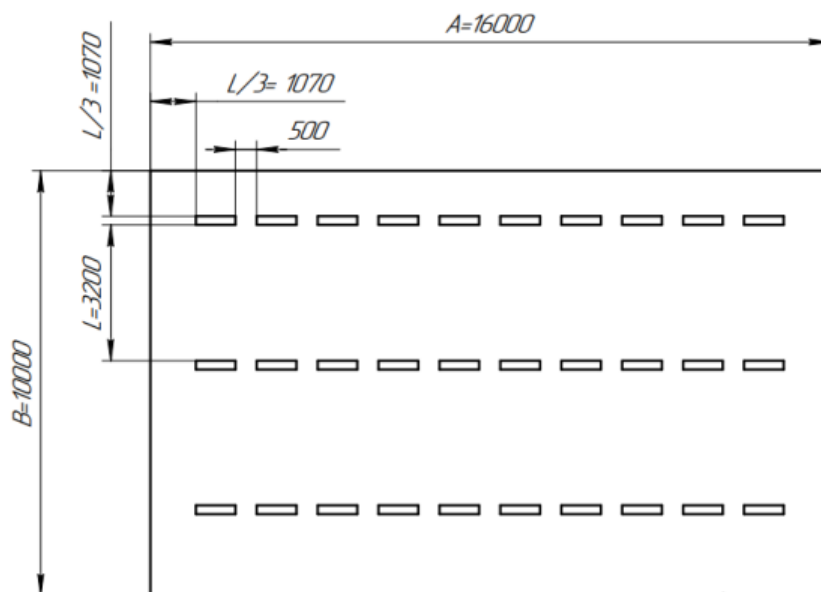


Рисунок 3.1. План освещения

Для защиты от слепящей яркости видимого излучения применяют защитные очки, щитки, шлемы. Очки не должны ограничивать поле зрения, должны быть легкими, не раздражать кожу, хорошо прилегать к лицу и не покрываться влагой.

## **Превышение уровня шума**

В процессе проведения исследования, возникает повышенный уровень шума в результате работа приводов станка и вибраций, возникающих при резании.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-2014. Максимальный уровень звука постоянного шума на рабочих местах не должен превышать 80 дБА. В нашем случае этот параметр соответствовал значению 60 дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

Средства Коллективной Защиты:

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;

- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звуко- и виброизоляции, звуко- и вибропоглощения;

- применение средств, снижающих шум и вибрацию на пути их распространения;

Средства Индивидуальной Защиты: применение защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

## **Производственные факторы, обладающие свойствами химического воздействия на организм человека**

В процессе работы на станках ведется подача смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ). СОЖ относится к 3 классу опасности с ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup> [8]. В составе современных СОЖ содержатся различные ингибиторы коррозии, присадки, эмульгаторы, индустриальные и минеральные масла, бактерицидные препараты. Безусловно, такое разнообразие химических веществ, входящих в состав СОЖ, определяет необходимость постоянного контроля их содержания и условий применения.

Вентиляция помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а

также для сохранности оборудования. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе паров СОЖ до концентрации, не превышающей ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup> [8].

Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более одного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3 [8].

В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки, очки, спец. одежда, респираторы.

#### **Неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов**

При проведении экспериментов есть угроза получить порезы от острых кромок, заусенцев, шероховатости деталей и заготовок. В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки и спец. одежда, инструктаж по ТБ [9].

#### **Движущиеся части твердых объектов**

При работе на станках возникает угроза получения оператором травмы при обдувке рабочей зоны станка при снятии и закреплении заготовки, и при смене инструмента.

В целях обеспечения безопасности работников на рабочих местах применяют СИЗ: защитные перчатки, очки, спец. одежда. А также проводят инструктаж [10].

#### **Производственные факторы, связанные с электрическим током**

Опасное и вредное воздействия на людей электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей проявляются в виде электротравм и профессиональных заболеваний. Степень опасного и

вредного воздействия на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей зависит от:

- рода и величины напряжения и тока;
- частоты электрического тока;
- пути тока через тело человека;
- продолжительности воздействия электрического тока или электромагнитного поля на организм человека;
- условий внешней среды.

Электротравма опасна прежде всего воздействием тока на сердечно-сосудистую систему. Напряжение от 36 вольт и выше вполне способно вызвать остановку сердца или дыхания, однако убивает не напряжение, а сила тока. Рабочее помещение по опасности относится к 1 группе (Безопасное) Категория персонала – I (не электротехнический персонал). Группа I присваивается задействованным лицам после проведения ознакомительного инструктажа, после которого осуществляется проверка знаний в виде устного опроса, а также проверка полученных навыков безопасных приёмов работы или оказания первой помощи пострадавшим от удара электрическим током. [11].

Рабочее место удовлетворяет всем требованиям безопасности жизнедеятельности: нет доступа к токоведущим частям, все источники питания пронумерованы, корпус электродвигателя заземлены. Категория помещения: Помещение без повышенной опасности поражения электрическим током. Отсутствуют признаки и факторы характерные для особо опасных и повышенной опасности поражения током.

### **3.3. Экологическая безопасность**

При проведении экспериментов происходит загрязнение гидросферы, атмосферы и литосферы.

Загрязнение атмосферы происходит в результате выбросов в воздух пыли, мелкой крошки металла и СОЖ. Класс опасности вредных веществ

определяется на основании ГОСТ 12.1.007-76. Указанные вещества относятся к следующим классам опасности:

СОЖ - 3 класс опасности с ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup>;

Мелкая крошка металла – 4 класс опасности с ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup>;

Пыль - 4 класс опасности с ПДК: 2 мг/м<sup>3</sup>;

Выбросы отходов производства в воздух регулируются следующими нормативными документом:

СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»

Методы борьбы с данным видом загрязнения следующие:

- Использование тканевых фильтров;
- Использование электрических фильтров;
- Использование циклонов;
- Использование абсорбера и адсорбера.

Загрязнение гидросферы происходит путем выброса отработанной СОЖ и масла. Указанные вещества относятся к 3 классу опасности с ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup> [8]. Нормирование происходит следующими нормативными документами:

ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.

Методы предотвращения выбросов отходов в гидросферу следующие:

- Механический метод(фильтрация);
- Термический метод(выпаривание/дистиляция);
- Отделение воды от СОЖ в центрифуге.

Загрязнение литосферы происходит за счет выброса отходов механической обработки. Загрязнение литосферы сокращается путем сортировки отходов производства, использования безотходного производства и переработки отходов, которые не подлежат рециркуляции.

### **3.4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

На любом производственном объекте есть склад ГСМ, следовательно, есть опасность возникновения пожара.

В следующих документах приведены основные положения по безопасности при ЧС:

- ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в ЧС. Основные положения.
- ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в ЧС. Защита населения. Основные положения.
- Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ.

При возникновении пожара в рабочем цеху работник имеет инструкции по устранению ЧС. При возгорании работник обязан оповестить своего руководителя о возникновении ЧС и, по возможности, локализовать или ликвидировать пожар. В случае, когда это невозможно, работник должен отключить рабочее оборудование и проследовать в пункт сбора, по пути необходимо сообщать всем о возникновении ЧС. В здании, где проводились эксперименты, имеется план эвакуации при ЧС (Рисунок 3.2), а также основные действия персонала при возникновении пожара (Рисунок 3.3), проводится инструктаж персонала, и помещения обеспечены порошковыми огнетушителями.



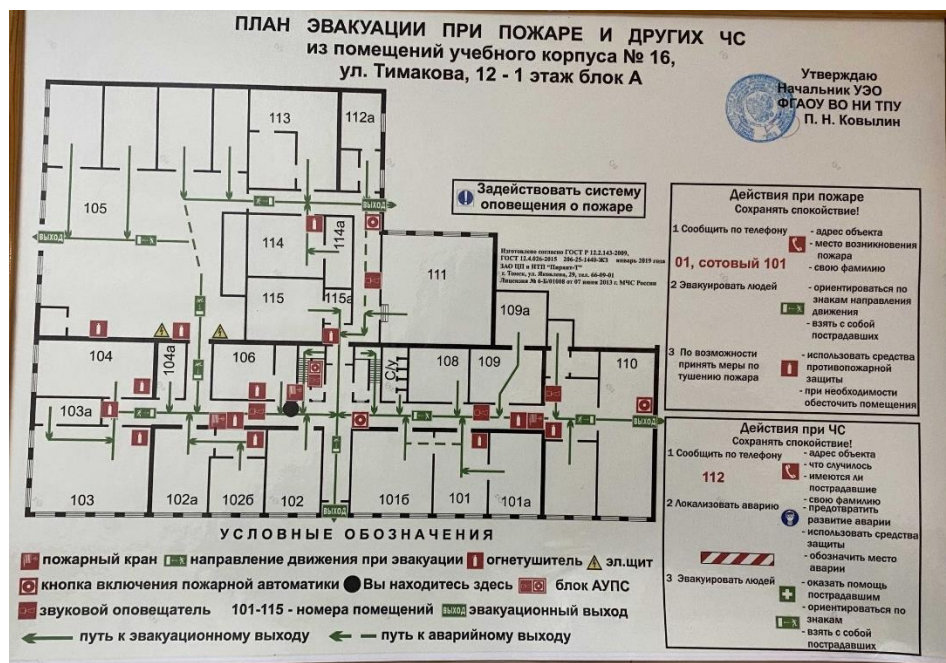


Рисунок 3.2. План эвакуации

**Основные действия администрации,  
дежурного персонала, сотрудников и студентов  
при возникновении пожара на объектах университета.**

При возникновении пожара действия лица обнаружившего пожар и администрации в первую очередь должны быть направлены на:

1. Немедленное сообщение о пожаре в пожарную охрану.
2. Обеспечение эвакуации людей.
3. Тушение пожара.

Для оповещения людей о пожаре в здании должна использоваться внутренняя система оповещения о пожаре, а также тревожные и другие звуковые сигналы.

Каждый обнаруживший пожар или загорание, обязан:

1. Немедленно сообщить об этом в пожарную охрану по телефону - **01 (сотовый – 010)**, назвать адрес пожара, место возникновения, свою фамилию.
2. Сообщить о случившемся администрации или дежурному персоналу.
3. Оказать помощь администрации (дежурному персоналу) в организации эвакуации людей из здания и тушении пожара.

Администрация или дежурный персонал обязаны:

1. Немедленно сообщить о случившемся пожаре в пожарную охрану по телефону – **01 (сотовый 010)**, сообщить адрес, место возникновения пожара и свою фамилию.
2. Организовать эвакуацию людей и тушение пожара.

Эвакуацию нужно начинать из того помещения, где возник пожар, а также из помещений, которым угрожает опасность распространения пожара и задымления, это выше расположенные этажи здания.

- 2.1. Передать по системе оповещения сообщение о возникновении пожара и начале эвакуации людей из здания.

Услышав сигнал - «Внимание пожарная тревога, срочно покинуть здание» - каждый сотрудник, студент обязаны неукоснительно подчиниться сигналам оповещения о пожаре и незамедлительно покинуть здание. Перед уходом необходимо выключить все электроприборы и освещение в помещении, закрыть двери, не запирая их на замок. Маршрут движения должен быть наиболее краткий и безопасный. В холодное время года необходимо надеть теплую одежду.

- 2.2. Немедленно открыть двери основного и запасных эвакуационных выходов.
- 2.3. Организовать отключение электроэнергии в зоне пожара.
- 2.4. Принять участие к тушению очага пожара имеющимися средствами пожаротушения (огнетушитель, пожарный кран, другие подручные средства).
- 2.5. Выделить для встречи пожарных подразделений лицо, хорошо знающее расположение подъездных путей и пожарных гидрантов.
- 2.6. Прекратить все работы не связанные с мероприятиями по ликвидации пожара.
- 2.7. Удалить из помещений, в первую очередь из опасной зоны, людей не связанных с ликвидацией пожара.
- 2.8. Направлять людские потоки по наиболее безопасному маршруту, удаленному от очага пожара или зоны задымления непосредственно на улицу или безопасную зону.
- 2.9. Организовать проверку помещений после эвакуации и сверху эвакуированных, для выявления возможно оставшихся людей (руководитель подразделения, в случае его отсутствия – дежурный персонал).

3. Поставить в известность о пожаре руководителя (ректора университета, проректора по режиму и безопасности).
4. По прибытии на пожар подразделений противопожарной службы, сообщить старшему начальнику пожарной охраны (руководителю тушения пожара – РТП) о сложившейся обстановке на пожаре и принятых мерах по эвакуации людей и имущества, о конструктивных и технологических особенностях объекта, прилегающих строений и сооружений, количестве и пожароопасных свойствах хранимых и применяемых веществ и материалов (опасных, взрывоопасных, сильно действующих ядовитых веществах и т.п.), а также другие сведения, необходимые для успешной ликвидации пожара.

Рисунок 3.3. Памятка при возникновении пожара

## **Вывод по разделу**

В ходе исследования места проведения экспериментов было выявлено соответствие нормам следующих факторов: микроклимат, уровень шума, освещение, наличие в воздухе вредных веществ, неподвижные режущие, колющие, обдирающие, разрывающие части твердых объектов, движущиеся твердые объекты, производственные факторы, связанные с электрическим током.

В рабочем помещении имеются средства коллективной защиты и средства индивидуальной защиты для уменьшения содержания вредных веществ в воздухе. Содержание соответствует ПДК: 6 мг/м<sup>3</sup>.

Шум на рабочем месте соответствует нормам, 60 дБА.

Достаточная освещенность цеха реализуется преимущественно за счет искусственного освещения и составляет 300лк.

Для уменьшения вероятности травмирования оператора при работе летящей стружкой, движущимися частями станка, острыми кромками и заусенцами деталей, выдаются СИЗ: спецодежда, очки, перчатки. Также сама конструкция станков уберегает работника от получения вреда вышеуказанными факторами.

Категория помещения по электробезопасности: помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность;

Группа персонала по электробезопасности: 1 группа;

Категория тяжести труда: Ib (Работы, производимые сидя, стоя или связанные с ходьбой и сопровождающиеся физическим напряжением);

Категория помещений по взрывопожарной и пожарной опасности: B2 – пожароопасное;

Категория объекта, оказывающего значительное негативное воздействие на окружающую среду: объект IV категории (объект, оказывающих негативное воздействие на окружающую среду).

## Список литературы

1. Методические указания по разработке раздела «Социальная ответственность» ВКР магистра и специалиста всех направлений и форм обучения ТПУ/Е.Н. Пашков, А.И. Сечин, И.Л. Мезенцева, О.А. Антонец, И.И. Авдеева – Томск: Изд-во ТПУ, 2022. – 18 с.
2. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. ГОСТ 12.1.003-2014 Система стандартов безопасности труда. Шум. Общие требования безопасности.
4. СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение.
5. ГОСТ 12.2.033-78 Рабочее место при выполнении работ стоя.
6. Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 25.02.2022) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.03.2022).
7. ГОСТ 12.1.005-88 Система стандартов безопасности труда. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
8. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
9. ГОСТ 12.3.002-2014 Система стандартов безопасности труда. Процессы производственные. Общие требования безопасности.
10. ГОСТ 12.2.003-91 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие требования безопасности.
11. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда. Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля.
12. ГОСТ 17.1.3.13-86. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к охране поверхностных вод от загрязнений.
13. ГОСТ Р 22.0.01-2016. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Основные положения.
14. ГОСТ Р 22.3.03-94. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Защита населения. Основные положения.

15. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.

16. ГОСТ 12.2.049-80 Система стандартов безопасности труда. Оборудование производственное. Общие эргономические требования.

17. ГОСТ 12.2.033-78 Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.

18. ГОСТ 12.3.025-80 Система стандартов безопасности труда. Обработка металлов резанием. Требования безопасности.

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
4АМ11	Губайдуллин Денис Маратович

<b>Школа</b>	<b>ИШНПТ</b>	<b>Отделение школы (НОЦ)</b>	<b>Отделение материаловедения</b>
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	15.04.01 Машиностроение

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Норма амортизационных отчислений на специальное оборудование</i>
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>Отчисления во внебюджетные фонды 30 %</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Потенциальные потребители результатов исследования. Анализ конкурентных технических решений, SWOT-анализ. Оценка готовности проекта к коммерциализации.</i>
2. <i>Определение возможных альтернатив проведения научных исследований</i>	<i>Определение целей и ожиданий, требований проекта. Определение заинтересованных сторон и их ожиданий.</i>
3. <i>Планирование процесса управления НИТ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	<i>Определение структуры выполнения НИТ. Определение бюджета НИТ. Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения исследования.</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	<i>Определение финансового и научно-технического эффекта.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. «Портрет» потребителя результатов НИТ
2. Сегментирование рынка
3. Оценка конкурентоспособности технических решений
4. Матрица SWOT
5. График проведения и бюджет НИТ
6. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИТ
7. Потенциальные риски

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	14.03.2023
---	------------

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор	Гасанов М.А.	д-р экон. наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
4АМ11	Губайдуллин Д.М.		

## **Введение**

**Тема:** «Определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики».

### **Краткое описание**

Основная цель данного раздела – оценить перспективность развития и планировать финансовую и коммерческую ценность конечного продукта, представленного в рамках исследовательской работы. Коммерческая ценность определяется не только наличием более высоких технических характеристик над конкурентными разработками, но и тем, насколько быстро разработчик сможет ответить на следующие вопросы – будет ли продукт востребован на рынке, какова будет его цена, каков бюджет научного исследования, какое время будет необходимо для продвижения разработанного продукта на рынок.

Данный раздел, предусматривает рассмотрение следующих задач:

- Оценка коммерческого потенциала разработки;
- Планирование научно-исследовательской работы;
- Расчет бюджета научно-исследовательской работы;
- Определение ресурсной, финансовой, бюджетной эффективности исследования.

Целью НИР является определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики.

## **4. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **4.1. Предпроектный анализ**

#### **4.1.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

Чтобы определить потенциальных потребителей данной разработки, необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, но так, как для данных использованных сверл, являются только один потребитель, то данная разработка не выйдет на целевой рынок. Компания, которая её изготавливает и использует – ООО «ПК МИОН». Данный проект актуален, так как при расчете стоимости конечного продукта немалую роль играет его изготовление. В процессе изготовления (фрезерование, сверления и т.д.) возникает множество факторов, способствующих снижению стойкости инструмента, например, такие как подбор неэффективных режимов работы, применение инструмента не соответствующего твердости материала и т.д.

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование, которое в дальнейшем поможет найти области, в которых продвижение нового продукта будет наименее трудоемким.

Целевым рынком для исследования являются компании, занимающиеся производством осевого инструмента, компании, которые используют данный инструмент для производства готовой продукции. Для сравнения эффективности применения результатов исследования, возьмем два стенда компаний «Группа технополис» и «РОСИНСТРУМЕНТПРОМ».

Таблица 4 – Карта сегментирования рынка по металлорежущим инструментам.

		Вид применяемой компании		
		Разработка	Группа технополис	Росинструментпром
Размер компании	Крупные	+		
	Средние	+	+	+
	Мелкие	+	+	+

Исследование будет интересно компаниям среднего размера, так как у крупных компаний большие объемы производства и введение новшества будет применено только после подтверждения эффективности исследования в средних и мелких компаниях. На карте сегментирования отражено, что исследование является актуальным и впишется в российский рынок.

#### 4.1.2. Анализ конкурентных решений

С целью детального анализа конкурирующих разработок, существующих на рынке металлорежущих инструментов, и определения сильных и слабых сторон конкурентов сформируем оценочную карту, приведенную в таблице 5. Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, а 5 – наиболее сильная. Веса показателей, определяемые экспертным путем, в сумме должны составлять 1. Где: Бф (Кф) – баллы (конкурентоспособность) линейного пробоотборника, БК1 (КК1) и БК2 (КК2) – баллы (конкурентоспособность) линейных пробоотборников : «Группа технополис» и «РОСИНСТРУМЕНТПРОМ».

Анализ конкурентных технических решений определяется по формуле:

$$K = \sum B_i \cdot B_j$$



где  $K$  – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;  $B_i$  – вес показателя (в долях единицы);  $B_i$  – балл  $i$ -го показателя.

Таблица 5 – оценочная карта сравнения конкурентных технических решений

№	Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
			Бф	Бк1	Бк2	Кф	К1	К2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
<b>Технические критерии оценки ресурсоэффективности</b>								
1	Повышение производительности труда пользователя	0,1	5	3	3	0,5	0,3	0,3
2	Удобство в эксплуатации (соответствует требованиям потребителей)	0,05	5	3	4	0,25	0,15	0,2
3	Уровень шума	0,04	4	3	4	0,16	0,12	0,16
4	Энергоэкономичность	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
5	Надежность	0,1	4	3	4	0,4	0,3	0,4
6	Безопасность	0,05	3	4	4	0,15	0,2	0,2
7	Функциональная мощность (предоставляемые возможности)	0,04	4	5	5	0,16	0,2	0,2
8	Простота эксплуатации	0,04	5	3	3	0,2	0,12	0,12
9	Возможность подключения к сети ЭВМ	0,04	4	2	1	0,16	0,08	0,04
<b>Экономические критерии оценки эффективности</b>								
1	Конкурентоспособность продукта	0,05	5	3	2	0,25	0,15	0,1
2	Уровень проникновения на рынок	0,09	1	4	3	0,09	0,36	0,27
3	Цена	0,1	4	2	2	0,4	0,2	0,2
4	Предполагаемый срок эксплуатации	0,1	3	4	5	0,3	0,4	0,5
5	Послепродажное обслуживание	0,01	4	2	2	0,04	0,02	0,02
6	Финансирование научной разработки	0,1	5	4	4	0,5	0,4	0,4
7	Срок выхода на рынок	0,05	4	5	5	0,2	0,25	0,25
	Итого	1	64	55	56	<b>3,92</b>	<b>3,45</b>	<b>3,56</b>

Исходя из сравнительного анализа оценочной карты можно сказать о больших перспективах разработки технологического процесса изготовления

сверл и качестве проведенного исследования. Процесс является конкурентоспособным, так как по многим показателям превосходит своих конкурентов. Сильными сторонами данной научной разработки является: производительность, удобство и простота в эксплуатации, низкая цена продукта, эффективность в послепродажном обслуживании.

#### 4.1.3. SWOT-анализ

SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта. Матрица составляется на основе анализа рынка и конкурентных технических решений, и показывает сильные и слабые стороны научного проекта, в том числе его возможности и угрозы. Процесс проводится в два этапа.

Первый этап заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде. Матрица SWOT представлена в таблице 6.

Таблица 6 – SWOT-анализ

		Сильные стороны проекта	Слабые стороны проекта
		<p>С1. Высокая скорость сверления;</p> <p>С2. Высокая точность обработанной поверхности;</p> <p>С3. Повышение производительности труда пользователя;</p>	<p>Сл1. Возможное появление чрезвычайных ситуаций;</p> <p>Сл2. Притупляются режущие кромки;</p> <p>Сл3. Интенсивный нагрев в зоне резания;</p>
	<b>Возможности</b>		
	В1. Использование сотрудниками ПК МИОН;	<p>В1С3. Использование базы ПК МИОН повысит производительность;</p> <p>В2С2С3. Уменьшение времени обработки изделий повысит производительность труда пользователя и точность обработанной поверхности;</p>	<p>В4Сл1. Обеспечение безопасности при эксплуатации снижает риск появления чрезвычайных ситуаций;</p> <p>В3Сл2. Своевременная замена инструмента, или его переточка;</p> <p>В4Сл3. В зону резания под</p>
	В2. Уменьшение времени обработки изделий;		

		В3. Рост числа изделий, изготовленных с помощью фрез;	В3С1С2. Увеличение числа изделий за счет использования всех функциональных возможностей и технических характеристик сверл.	давлением подается смазывающая охлаждающая жидкость.
		В4. Обеспечение безопасной дальнейшей эксплуатации		
<b>Угрозы</b>			У2С1. Расширение функциональных возможностей;  У2С2. Производительность труда будет компенсировать повышение цен;  У2.С3. Возможность перенастройки под соответствующие требования.	У1Сл1. Высокая себестоимость может существенно снизить продажи данного продукта;  У2Сл1. Усиление защит от возникновения ЧС.
		У1. Повышение цен на материалы;		
		У2. Ужесточение требований пользователей.		

Второй этап состоит в выявлении соответствия сильных и слабых сторон научно-исследовательского проекта внешним условиям окружающей среды.

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта для сильных сторон и возможностей

Сильные стороны проекта					
Возможности проекта		С1	С2	С3	С4
	В1	+	+	+	+
	В2	+	+	+	+
	В3	+	+	+	+
	В4	+	+	+	+

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта для слабых сторон и возможностей

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	В1	0	+	+
	В2	+	+	+
	В3	0	0	+
	В4	0	+	+

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта для сильных сторон и угроз

Сильные стороны проекта				
Угрозы проекта		C1	C2	C3
	У1	0	+	0
	У2	0	+	+

Таблица 10 – Интерактивная матрица проекта для слабых сторон и угроз

Слабые стороны проекта			
Угрозы проекта		C1	C2
	У1	+	0
	У2	0	0

На основании проведенного анализа можно сделать вывод о перспективных направлениях по улучшению проекта в будущем:

- улучшение проекта на предприятии в целях повышения качества изделий;
- повышение культуры безопасности при работе с данной технологией и обязательное соблюдение необходимых требований по безопасности;
- обеспечение стабильной работы и защиты от умышленных поломок со стороны пользователя;
- расширение области использования проекта с последующим обеспечением модернизации;
- анализ стоимости компонентов, применяемых при изготовлении инструментов, и поиск аналогов на рынке в целях снижения себестоимости продукта.

#### **4.1.4. Оценка готовности проекта к коммерциализации**

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Перечень вопросов приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	5	5
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	4	4
3.	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	4	3
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	4	4
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	4	4
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	3	3
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	4	4
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	4
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	3	3
15.	Проработан механизм реализации научного проекта	4	5
	<b>ИТОГО БАЛЛОВ</b>	<b>56</b>	<b>57</b>

При проведении анализа по каждому показателю ставится оценка по пятибалльной шкале. При этом система измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) отличается. Так, при оценке степени проработанности научного проекта 1 балл означает не проработанность проекта, 2 балла – слабую проработанность, 3 балла – выполнено, но в качестве не уверен, 4 балла – выполнено качественно, 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта. Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид: 1 означает не знаком или мало знаю, 2 – в объеме теоретических знаний, 3 – знаю теорию и практические примеры применения, 4 – знаю теорию и самостоятельно выполняю, 5 – знаю теорию, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i ,$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации.

Итоговые значения проработанности научного проекта и знания у разработчика лежат в диапазоне от 56 до 57, что свидетельствует о средней перспективности проекта.

## **4.2. Планирование научно-исследовательских работ**

### **4.2.1. Структура работ в рамках научного исследования**

Для выполнения научного исследования была создана рабочая группа, в которую вошли научный руководитель и непосредственно студент, выполняющий написание магистерской диссертации. В данном подразделе был создан перечень работ и отдельных этапов в рамках проведения

исследования, а также приведены исполнители по каждому виду работ, который представлен в виде таблицы 12.

Таблица 12 - Список производимых задач и работ и их исполнители

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания.	Руководитель
	2	Календарное планирование выполнения исследовательской работы	Студент Руководитель
Выбор направления исследований	3	Проведение литературного обзора	Студент
Теоретические экспериментальные исследования Разработка технологической документации	4	Составление принципиальной схемы	Студент
	5	Выполнение расчетов	Студент Руководитель
	6	Изготовление сверл	Студент Руководитель
	7	Проведение эксперимента	Студент Руководитель
	8	Определение предельно допустимого износа сверла при сверлении	Студент Руководитель
Оформление отчета	9	Оформление пояснительной записки по результатам исследования	Студент

Для выполнения перечисленных в таблице 12 работ требуются специалисты: студент в качестве инженера и научный руководитель.

#### **4.2.2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения**

Трудоемкость выполнения работы оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества

трудно учитываемых факторов. Для определения, ожидаемого (среднего) значения трудоемкости:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5} \quad (4.1)$$

Где:

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы, человеко-дни;

Зная величину ожидаемой трудоемкости, можно определить продолжительность каждой  $i$ -ой работы в рабочих днях  $T_{pi}$ , при этом учитывается параллельность выполнения работ разными исполнителями. Данный расчёт позволяет определить величину заработной платы.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i} \quad (4.2)$$

Где:

$T_{pi}$  – продолжительность одной работы, рабочие дни;

$t_{ожі}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, человеко-дни;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел;

Для перевода длительности каждого этапа из рабочих в календарные дни, необходимо воспользоваться формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \times k \quad (4.3)$$

Где:

$T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$ -й работы в рабочих днях;

$k$  – календарный коэффициент.

Календарный коэффициент определяется по формуле:



$$k = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{праз}}} = \frac{365}{365 - 104 - 14} = 1,48 \quad (4.4)$$

Где:

$T_{\text{кал}}$  – общее количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – общее количество выходных дней в году;

$T_{\text{праз}}$  – общее количество праздничных дней в году;

Таким образом, определены временные показатели проведения работы:

Таблица 13 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях $T_{Pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
	$t_{mini}$ , чел-дни		$t_{maxi}$ , чел-дни		$t_{ожи}$ , чел-дни			
	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2	Исп.1	Исп.2		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Составление и утверждение технического задания	2	0	4	0	2,8	0	2,8	4
2. Календарное планирование выполнения НИР	1	3	3	4	1,8	3,4	3,4	5
3. Проведение литературного обзора	0	7	0	14	0	9,8	9,8	15
4. Составление принципиальной схемы	0	7	0	14	0	9,8	9,8	15
5. Выполнение расчетов	7	7	14	8	9,8	7,4	9,8	15
6. Изготовление сверл	5	5	10	9	7	6,6	7	10
7. Проведение эксперимента	1	1	3	3	1,8	1,8	1,8	3

8. Определение предельно допустимого износа сверла при сверлении	7	14	7	14	7	14	14	21
9. Оформление пояснительной записки по результатам исследования	0	8	0	10	0	8,8	8,8	13
<b>Итого:</b>	23	52	41	76	30,2	61,6	67	101

*Примечание:* Исп.1 – научный руководитель; Исп.2 – студент.

На основании значений временных показателей проведения научного исследования построим диаграмму Ганта.



Диаграмма Ганта – это тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

График строится в виде таблицы 14 с разбивкой по месяцам и декадам (10 дней) за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике следует выделить различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

Таблица 14 – Календарный план-график проведения НИОКР по теме

Код работы (из ИСР)	Вид работ	Исполнители	Т <sub>к</sub> , ч.	Продолжительность выполнения работ																		
				Янв.			Февр.			Март			Апр.			Май.			Июнь			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1			
1	Составление и утверждение технического задания	Исп.1	4				▨															
2	Календарное планирование выполнения НИР	Исп.1 Исп.2	5				▨	■														
3	Проведение литературного обзора	Исп.2	15					■	■													
4	Составление	Исп.2	15							■	■											

	принципиально й схемы																		
5	Выполнение расчетов	Исп.1 Исп.2	15																
6	Изготовление сверл	Исп.1 Исп.2	10																
7	Проведение эксперимента	Исп.1 Исп.2	3																
8	Определение предельно допустимого износа сверла при сверлении	Исп.1 Исп.2	21																
9	Оформление пояснительной записки по результатам исследования	Исп.2	13																

 – Научный руководитель(Исп.1)       – Студент (Исп.2)

### 4.3. Бюджет научного исследования

При планировании бюджета научного исследования должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов планируемых расходов, необходимых для его выполнения. В процессе формирования бюджета, планируемые затраты группируются по статьям, представленным в таблице.

В этой работе использовать следующую группировку затрат по следующим статьям:

- материальные затраты научно-исследовательской работы (НИР);
- затраты на специальное оборудование для экспериментальных работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы НИР.

#### 4.3.1. Расчет материальных затрат научного исследования

Данная часть включает затрат всех материалов, используемых при испытании режущих инструментов (сверл). В процессе исследования были опробованы два вида сверла по металлу:

Исп.1- спиральное сверло, изготовленный из быстрорежущей стали (HSS);

Исп. 2- спиральное сверло, изготовленный из легированной стали Р6М5.

По химическому составу две приведенные стали имеют много общего, и это стало фактором их выбора. Результаты расчета затрат представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Материальные затраты.

№ п/п	Наименование оборудования	Ед. изм	Количество	Цена за единицу, руб.	Итого затраты, руб.
1.	Сверло конический хвостовик 10,0 средняя серия, ГОСТ 10903-77	шт.	3	398	1194
2.	Сверло 10,0 к/х HSS GUHRING	шт.	1	3 240	3240
3.	Лист Ст.3	кг.	6	75	450
4.	Спецодежда	шт.	2	750	1500
5.	Очки защитные	шт.	2	260	520
<b>Итого:</b>					6904

#### 4.3.2. Расчет амортизации специального оборудования

Расчет сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения данной работы и эксплуатировалось ранее, поэтому при расчете затрат на оборудовании учитываем только рабочие дни, в которые оно эксплуатировалось.

Расчет амортизации проводится следующим образом:

Норма амортизации: рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{n} \quad (4.5)$$

Где:  $n$ – срок полезного использования в количестве лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{N_A I}{12} \times t \quad (4.6)$$

Где:

$I$  – итоговая сумма, тыс. руб.;  $t$  – время использования, мес.

Таблица 16 – Затраты на оборудование.

№	Наименование оборудования	Кол-во, шт.	Срок полезного использования, лет	Время использования, мес.	$N_A$	Цена оборудования, руб.	Амортизация, руб
1	ЭВМ	1	4	1,5	0,25	50000	1653
2	Вертикально сверлильный станок 2А125	1	10	0,1	0,1	293250	244
3	Анализатор АГАТ-М ДИАМЕХ-2000	1	10	0,1	0,1	770000	642
	<b>Итого:</b>						2539

#### 4.3.3. Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата научных и инженерно-технических работников, рабочих макетных мастерских и опытных производств, непосредственно участвующих в выполнении работ по данной теме. Величина расходов по заработной плате определяется исходя из трудоемкости выполняемых работ и действующей системы оплаты труда. В состав основной заработной платы включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

В текущем научном исследовании были задействованы: Научный руководитель и Студент.

Основная заработная плата  $Z_{\text{осн}}$  одного работника рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (4.7)$$

где  $T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб.дн. (таблица 3.10);

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = (Z_{\text{м}} \cdot M) / F_{\text{д}} \quad (4.8)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала (в рабочих днях) (табл.1.16);

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

- при отпуске в 24 раб. дней  $M=11,2$  месяца, 5 - дневная рабочая неделя;

- при отпуске в 48 раб. дней  $M=10,4$  месяца, 6 - дневная рабочая неделя;

Для шестидневной рабочей недели (рабочая неделя руководителя):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{51285 \cdot 10,4}{223} = 2391,8 \text{ рублей}$$

Для пятидневной рабочей недели (рабочая неделя студента):

$$Z_{\text{дн}} = \frac{33150 \cdot 11,2}{119} = 3120 \text{ рублей}$$

Баланс рабочего времени представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104/14	104/14
- праздничные дни		
Потери рабочего времени		
- отпуск	24/0	48/0
- невыходы по болезни		
Действительный годовой фонд рабочего времени	223	119

Должностной оклад работника за месяц:

Для руководителя:

$$Z_m = Z_{mc} * (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 26300 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 51285 \text{ рублей}$$

Для студента:

$$Z_m = Z_{mc} * (1 + k_{пр} + k_d)k_p = 17000 * (1 + 0,3 + 0,2) * 1,3 = 33150 \text{ рублей,}$$

где:  $Z_{mc}$  – заработная плата, согласно тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равен 0,3;

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок, равен 0,2;

$k_p$  – районный коэффициент, равен 1,3 (для г. Томска).

Таблица 18 – Результаты расчета основной заработной платы

Исполнители	$Z_{mc}$ , руб.	$k_{пр}$	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , раб. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
Руководитель	26300	0,3	0,2	1,3	51285	2391,8	30,2	72232,36
Студент	17000	0,3	0,2	1,3	33150	3120	61,6	192192
Итого по статье $Z_{осн}$ :								264424,36

#### 4.3.4. Дополнительная заработная плата научно-производственного персонала

Дополнительная заработная плата включает оплату за непроработанное время (очередной и учебный отпуск, выполнение государственных обязанностей, выплата вознаграждений за выслугу лет и т.п.) и рассчитывается исходя из 10-15% от основной заработной платы, работников, непосредственно участвующих в выполнении темы:

$$Z_{доп} = k_{доп} * Z_{осн} \quad (4.9)$$

где  $Z_{доп}$  – дополнительная заработная плата, руб.;

$k_{доп}$  – коэффициент дополнительной зарплаты ( $k_{доп} = 0,15$ );

$Z_{осн}$  – основная заработная плата, руб.

Для руководителя:

$$Z_{доп} = 72232,36 * 0,15 = 10834,85 \text{ рублей}$$

Для студента:

$$Z_{доп} = 192192 * 0,15 = 28828,8 \text{ рублей}$$

#### 4.3.5. Отчисления на социальные нужды

Статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды.

Для руководителя:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (72232,36 + 10834,85) = 24920,16 \quad (4.10)$$

руб.

Для студента:

$$C_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot (192192 + 28828,8) = 66306,24 \text{ руб.} \quad (4.11)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд ОМС и социальное страхование). Общая ставка взносов составляет в 2022 году – 30% (ст. 425, 426 НК РФ).

#### 4.3.6. Накладные расходы

В эту статью относятся расходы по содержанию, эксплуатации и ремонту оборудования, производственного инструмента и инвентаря, зданий, сооружений и др, т.е. те затраты, которые не учитывались в предыдущих статьях.

Расчет накладных расходов ведется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} (Z_{\text{р}} + Z_{\text{о}} + Z_{\text{св}} + Z_{\text{эл}} + Z_{\text{кл}}) \quad (4.12)$$

где  $k_{\text{накл}}$  – коэффициент накладных расходов. Величина коэффициента принимается равной 0,16;

$Z_{\text{р}}$  – затраты на ремонт;

$Z_{\text{о}}$  – затраты на отопление;

$Z_{\text{св}}$  – затраты на связь;

$Z_{\text{эл}}$  – затраты на электричество;

$Z_{\text{кл}}$  – затраты на клининг;

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (3000 + 28000 + 300 + 5000 + 6000) = 6768 \text{ руб.}$$

#### 4.3.7. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при



формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Таблица 19 – Бюджет затрат НТИ

Затраты по статьям, руб.							
Сырье, материалы, покупные изделия и полуфабрикаты	Амортизация	Основная заработная плата	Дополнительная заработная плата	Отчисления на социальные нужды	Итого без накладных расходов	Накладные расходы	Стоимость бюджета
6904	2539	264424,36	39663,65	91226,4	404757,41	6768	411525,41

На основании полученных данных по отдельным статьям затрат составляется калькуляция плановой себестоимости НИ по форме, приведенной в таблице 3.18. В таблице 17 мы видим, что самые крупные расходы по проекту связаны с выплатой заработной платы и социальных фондов.

#### **4.4. Определение ресурсной, финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования**

##### **4.4.1. Интегральный показатель финансовой эффективности**

*Интегральный показатель финансовой эффективности* научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат двух вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналогов данной исследовательской работы рассмотрены:

- 1) Исследование процесса сверления с использованием спирального сверла, изготовленного из легированной стали Р6М5;

2) Исследование процесса сверления с использованием двух типов спиральных сверл из легированной стали Р6М5 и быстрорежущей стали (HSS);

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}}, \quad (4.13)$$

где  $I_{\text{финр}}^{\text{исп}i}$  – интегральный финансовый показатель разработки;

$\Phi_{pi}$  – стоимость  $i$ -го варианта исполнения;

$\Phi_{\text{max}}$  – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта.

$\Phi_{\text{исп.1}} = 408285,41$  руб.;  $\Phi_{\text{исп.2}} = 411525,41$  руб.

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп1}} = \frac{408285,41}{411525,41} = 0,99;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп2}} = \frac{411525,41}{411525,41} = 1;$$

#### 4.4.2. Интегральный показатель ресурсоэффективности

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (4.14)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i^a, b_i^p$  – бальная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

$n$  – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в форме таблицы.

Таблица 20 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии \ ПО	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1. Производительность	0,3	4	5
2. Долговечность в использовании	0,3	3	4
3. Удобство при эксплуатации	0,1	4	3
4. Безопасность при производстве	0,15	4	4
5. Надежность	0,15	3	4
ИТОГО	1	3,55	4,20

$$I_{p1} = 4*0,3+3*0,3+4*0,1+4*0,15+3*0,15 = 3,55$$

$$I_{p2} = 5*0,3+4*0,3+3*0,1+4*0,15+4*0,15 = 4,20$$

#### 4.4.3. Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки

Вычисляется на основании показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{эф.i} = \frac{I_{р.исп.i}}{I_{финр.исп.i}}, \quad (4.15)$$

где:

$I_{эф.i}$  – интегральный показатель эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_{р.исп.i}$  – интегральный показатель ресурсной эффективности  $i$ -ого варианта разработки;

$I_{финр.исп.i}$  – интегральный финансовый показатель  $i$ -ого варианта разработки.

$$I_{эф.исп.1} = \frac{3,55}{0,99} = 3,59$$

$$I_{эф.исп.2} = \frac{4,20}{1} = 4,20$$

Далее интегральные показатели эффективности каждого варианта НИР сравнивались с интегральными показателями эффективности других вариантов с целью определения сравнительной эффективности проекта (таблица 21).

Таблица 21 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,99	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,55	4,20
3	Интегральный показатель эффективности	3,59	4,20
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1	1,2

Сравнение среднего интегрального показателя сопоставляемых вариантов позволило сделать вывод о том, что наиболее финансово- и ресурсоэффективным является Исп.2.

## **Вывод по разделу**

В результате выполнения изначально сформулированных целей раздела, можно сделать следующие выводы:

1. По результатам проведенного анализа конкурентных технических решений можно отметить, что является наиболее предпочтительного и рационального, по сравнению с остальными;

2. При проведении планирования был разработан план-график выполнения этапов работ для руководителя и студента, позволяющий оценить и спланировать рабочее время исполнителей. Были определены: общее количество календарных дней для выполнения работы – 101 день, общее количество рабочих дней, в течение которых работал студент – 62 дня и общее количество рабочих дней, в течение которых работал руководитель – 30 дней;

3. Составлен бюджет исследования, позволяющий оценить затраты на реализацию проекта, которые составляет 411525,41 руб.;

4. По интегральным финансовым показателям можно отметить, что данное научное исследование является эффективным, и в этой связи поддержка научного исследования может являться грантом на выполнение проектов фундаментальных научных исследований. Данный способ является самым быстрым и простым для реализации данного научного исследования.

Все, вышеперечисленные технико-экономические показатели проекта, позволяют сделать вывод о том, что данное исследование Определение предельно допустимого износа спирального сверла методом вибродиагностики выгодна.

## Список используемой литературы

1. Вибрации при сверлении [Электронный ресурс] 2013. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/268005919.pdf> [дата обращения: 13.04.2023].
2. Заковоротный В. Л., Флек М.Б. Динамика процесса резания. Синергетический подход. Ростов-на-Дону: Терра. 2006. 876 с.
3. Гуськов А. М. Разработка методов построения и анализа динамических моделей технологических процессов при механической обработке: Дис. ... докт. техн. наук: 01.02.06. Москва, 1997. 335 с.
4. Армарего И. Дж. А., Браун Р. Х. Обработка металлов резанием. М.: Машиностроение, 1977. 325 с.
5. Виды брака при сверлении и способы его устранения [Электронный ресурс] 2012. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prichinysnizheniya-tochnosti-obrabotki-sverleniy/viewer> [дата обращения: 13.04.2023].
6. Диагностика технических систем часть 1 [Электронный ресурс] 2013. URL: [https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/19655/mod\\_resource/content/](https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/19655/mod_resource/content/) [дата обращения: 13.04.2023].
7. Диагностика технических систем часть 2 [Электронный ресурс] 2013. URL: [https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/19656/mod\\_resource/content/](https://stud.lms.tpu.ru/pluginfile.php/19656/mod_resource/content/) [дата обращения: 13.04.2023].
8. Gousskov A. M., Voronov S. A., Batzer S. A. Chatter synchronization in vibratory drilling // Dynamics, Acoustics and Simulations/ASME 2000. 2000. Vol. 68. P. 263- 270.
9. Batzer S. A., Gousskov A. M., Voronov S. A. Modeling vibratory drilling // Journal of Vibration and Acoustics. 2001. Vol. 123. P. 435-443.
10. Drilling head with axial vibrations: пат. US 8926235 B2: МПК В23В 37/00, В23В 29/12, В23В 47/34 / G. Moraru, P. Veron, P. Rabate; заявитель и патентообладатель.
11. Three-dimensional modeling of deep hole vibratory drilling dynamics / I. A. Kiselev [et al.] // Procedia Engineering. 2017. Vol. 176. P. 50-55.

12. Mousavi S., Gagnol V., Ray P. Machining prediction of spindle-selfvibratory drilling head // Journal of Materials Processing Technology. 2013. Vol. 213. P. 2119- 2125.

13. Model-based cutting prediction for a self-vibratory drilling headspindle system / F. Forestier [et al.] // International Journal of Machine Tools & Manufacture. 2012. Vol. 52. P. 59-68.

**Приложение А**  
(справочное)

**Determination of the maximum allowable wear of a spiral drill by  
vibration diagnostics**

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
4АМ11	Губайдуллин Денис Маратович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Козлов В.Н.	к.т.н.		

Консультант-лингвист отделения иностранных языков ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Гутарева Н.Ю.	к.п.н.		



## **1. Literature review**

### **1.1. Terminology and classification of drills. Main structural elements of spiral drills.**

A drill is a cutting tool that has one or more straight or spiral flutes and can have a hollow body for the transit of coolant-cutting fluid and chip during the production of a hole in a solid or core material. Drills greatly vary in shape, size and tolerance. Drills are classified according to the material they are made of, length, shape, number of flutes, chisel point characteristics, shank type, and size series. The best type of drill for a particular application depends on the material to be drilled and its design, characteristics, dimensions of holes regardless of whether the material being drilled is powder or solid, whether a through or blind hole is required, as well as characteristics of the machine and accessories, as well as cutting conditions. Selection of the right type of drill for a particular application requires taking into account all the given factors. Drill manufacturers offer the same type of drills with minor variations both in configuration and in metallurgy. These minor variations greatly affect the service life and the quality of holes, especially for small diameter drills. A great number of drills are used. Currently, there is no unified classification, although they can be divided into several categories based on an overview of drilling tools. First, it should be noted that drills must be made either from a single body (commonly referred to as reground drills) or using cutting plates (reground drills, replaceable-insert drills, etc.). Reground drills are usually limited in maximum diameter, while drills with cutting plates are limited in minimum diameter. The latter are often used in other industries besides metal cutting (for example, in the mining industry) because they can be made as large as necessary, although for metal cutting smaller diameter devices are more suitable.

Spiral drills are the most common type of drills, but they vary greatly in terms of configuration. They are called spiral drills due to the presence of one or more spiral passageways for chip removal along their body, which is called the flute. However, the case when the helical angle equals zero and the flutes are

straight (the so-called ‘zero spiral’ or ‘straight flute’) is also considered to be the spiral drill type.

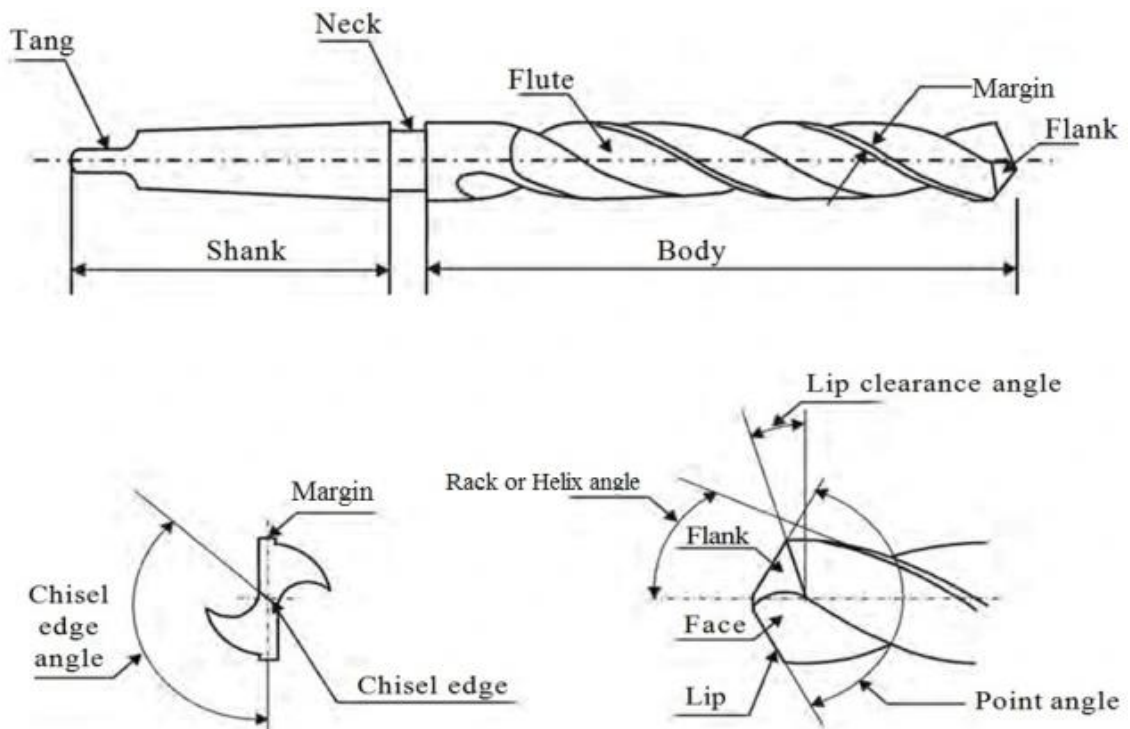


Fig. 1.1. Nomenclature of the spiral drill

The spiral drill (Fig.1.1) consists of a working body, a recess, and a shank. In turn, the working body of the drill consists of cutting and calibrating parts. On the cutting part of the drill sharpened into a cone with a  $2\phi$  angle at the vertex, there are two symmetrically arranged main cutting edges, representing the intersection lines of two screw front and two shaped main rear surfaces. The main cutting edges are connected by a transverse cutting edge (jumper) – the intersection line of the two main rear surfaces. There are two auxiliary cutting edges  $s$  on the outer surface of the drill, made in the form of two guide calibration tapes with a width of  $f$ . The front surface of the spiral drill is a linear convolute screw surface since it is formed by a helical movement with a constant pitch of the main cutting edge inclined to the drill axis at an  $\phi$  angle along the guide cylinder the diameter of which is equal to the core of the drill  $d_0$ .

## 1.2. Cutting force components during drilling

During drilling three (two main and one transverse) cutting edges are involved which together determine the power load on the drill. In addition, when

drilling there is a friction of the drill lands against the walls of the treated hole, which affects the torque.

The resultant cutting force on the main cutting edge of the drill can be divided into three mutually perpendicular components:

$P_z$  - tangential, acting in the direction of the cutting velocity vector;

$P_x$  - feeding force, acts parallel to the drill axis;

$P_y$  - radial, acts radially to the drill axis (Fig. 1.2).

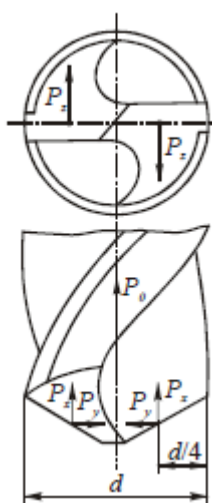


Fig. 1.2. Cutting force components during drilling

Drilling torque:

$$\sum M_{\text{кр}} = 2P_z \frac{d}{2} + 2M_{\text{трл}} + M_{\text{пкр}}, \quad (1.1)$$

where  $P_z$  – tangential component of the cutting force acting on one main cutting edge;  $M_{\text{трл}}$  –friction torque on lands,  $M_{\text{трл}} \leq 12\% \sum M_{\text{кр}}$ ;  $M_{\text{пкр}}$  –cross-cutting edge torque,  $M_{\text{пкр}} \leq 8\% \sum M_{\text{кр}}$

The axial force is calculated using the following formula:

$$P_o = 2P_x + P_{\text{пкр}}, \quad (1.2)$$

where  $P_x$  – feeding force acting on one main cutting edge of the drill;

$P_{\text{пкр}}$  –feeding force acting on the cross-cutting edge of the drill and depending on the sharpening method,  $P_{\text{пкр}} = (30 \dots 60\%) P_o$ .

The transverse edge and the cutting edges are the main cutting areas and are responsible for most of the material removal work, while the cutting part on the land is called ‘reaming’ the purpose of which is to create a hole. Theoretically, there should be no cutting on the front surface, but due to the deformation of the item under the action of the traction force, part of the material is removed. The final (finishing) surface of the hole will have a conical shape (not perfectly cylindrical). In the area of cutting edges, cutting is more efficient, and it is desirable for the size of the land to be as small as possible. The strength of the drill directly depends on the size of the blade, and the web is the cutting edge connected with the blade. Due to the strongly negative front angle and low local cutting speeds, the web area is one of the least efficient cutting areas, with the strongest elementary cutting forces. Even though the area of the web edge is usually 20% of the drill diameter, it rarely accounts for more than 50% of the axial force. The web edges position the drill before the main cutting edges start cutting, and stabilize the drill throughout the cutting process. This also affects the centering characteristics of the drill. In some cases, additional grinding operations called ‘blade thinning’ are performed at the chisel point of the tool to reduce the size of the web edge.

The main cutting edges are the cutting edges that affect the torque, thrust, radial forces, power, flow rate, drilling temperature, and burr formation at the inlet and outlet.

In practice, the axial force and torque are calculated according to the corresponding formulas:

$$M_o = C_M d^{X_M} s^{Y_M} K_{M'} \quad (1.3)$$

where  $C_p$ ,  $C_m$  – coefficients characterizing drilling conditions and properties of the processed material accepted as a standard;

$K_p$ ,  $K_m$  – coefficients characterizing changes in drilling conditions (method of sharpening, thinning, coolant-cutting fluid, etc.)

### **1.3. Wear of drills. Calculation of cutting modes during drilling**

When drilling, the cutting speeds and friction paths are variable along the length of the cutting edges. The chips are cut wide and thin, so spiral drills wear

out mainly on the back surfaces of the main cutting edges. In this case, the wear has the form of a chamfer, variable in length of the cutting edges of the width of the  $h_{bs}$  the value of which is approximately proportional to the radius of the drill. When drilling brittle materials, drill wear occurs at the corners of  $h_c$ . When drilling viscous materials at high speeds, wear occurs on front surfaces in the form of a crater and on the lands in the form of a wear chamfer of the  $h_l$ .

The most dangerous is the wear on the corners and lands of the drill due to the fact that in the process of regrinding a significant amount of tool material has to be ground off. Therefore, in the drilling process extremely gross wear of drills in the form of melting of corners and grinding of lands should be avoided.

The transverse cutting edge wears out much more slowly due to the low friction speeds in the center of the drill. The gross wear of this edge causes a sharp increase in the axial cutting force, and the wear on the lands causes a significant increase in torque. Extensive wear of the transverse cutting edge indicates that the heat treatment of the tool material was violated during the drill manufacturing process.

The influence of various factors on the wear of rear surfaces of drills during the processing of structural steel can be described by the following empirical formula:

$$h_{3m} = C_v^{4,85} s^{2,35} T^{-1,42} \quad (1.4)$$

It follows from this formula that the cutting speed has the greatest impact on drill wear whereas feeding has a much smaller impact.

Therefore, from the point of view of drill wear, it is preferable to work with a larger feeding and a lower cutting speed which with a given resistance  $T$  provides greater efficiency of the drilling process.

The cutting speed during drilling is calculated by the following equation:

$$v = \frac{C_v d^{x_v}}{T^m s^{y_v}} K_v, \quad (1.5)$$

where  $C_v$  – coefficient depending on the properties of the processed material for structural steel ( $C > 0.6\%$ );  $\sigma_v = 750 \text{ MPa}$ ;  $C_v = 89$  for feeding  $s < 0.2 \text{ mm/rev}$ . and  $C_v =$

12.4 for feeding  $s > 0.2$  mm/rev; for cast iron with hardness HB 190  $C_v = 20.6$ ;  $m$  – exponents for these materials, respectively,  $m = 0.2$  and  $0.125$ ,  $x_v = 0.4$  and  $0.25$ ,  $y_v = 0.6$  and  $0.5$ ;  $K_v$  – a coefficient that takes into account the influence of coolant-cutting fluid (CCF), drilling depth, sharpening methods, etc.

$$K_v = K_{CCF} K_l K_{shm} \quad (1.6)$$

Laboratory studies and production tests revealed evidence of loss of drills operability in automated production conditions presented in [14]. Their emergence warns that drills practically lost their operability and their further operation can lead to tool failure at any moment. In [14] these signs are defined as signs of the drills' limit tolerance state. These signs are:

- occurrence of significant vibrations of the MDTP (industrial machine-device-tool-part) system with a large number of simultaneously working drills of the same diameter, for example, when producing mounting holes in flanges;
- clicking sounds, traces of the processed metal adhesion to worn sections of lands;
- metal extrusion and appearance of a circular bead at the inlet of the hole;
- the appearance of ragged burrs at the outlet of the hole.

The reason for the first three of the above signs is the wear of drill lands, namely, vibrations of the MDTP system with a large number of simultaneously working drills appear as a result of peak-like bursts of the cutting torque during the 'click' when the worn section of the working part of the tool is entrapped [14]. The squeezing out of circular bead at the inlet of the hole happens as a result of a large back taper on the worn sections of the lands.

The appearance of ragged burrs at the outlet of the hole occurs due to the blunting and loss of cutting properties of drill corners as a result of which a certain amount of processed metal is not cut off but squeezed out when the drill exits the hole. This is also due to the softening of the processed metal as a result of an increase in cutting temperature due to considerable drill wear.

#### **1.4. Method of evaluating vibration resistance by amplitude-phase frequency response**

The tests related to obtaining the amplitude-phase frequency response (AFR), which allows assessing the stability margin of the machine and identifying the influence of the main structural and technological factors on the dynamic characteristics of the system, have become the most widespread. To take these characteristics, special vibrators (contact and non-contact) are used which provide power action on the elastic system of the machine according to a given usually sinusoidal rule in a certain frequency range. The response of the system to this action (its oscillation with a certain amplitude and phase displacement in regards to the actuating signal) allows using AFR to identify its dynamic characteristic. When conducting such tests, non-contact electromagnetic vibrators, precision measuring transducers and appropriate equipment for measuring vibration displacements are usually used. Evaluating the development of research and methods for the assessment of the dynamic quality of machines it should be noted that the most widespread are the methods that are used to identify areas of unstable machine operation, determine the permissible range of operating modes, and indicate weak elements that reduce dynamic characteristics of the system. All this is necessary, but not sufficient. It is also necessary to evaluate the influence of vibration displacements of machine components on quality parameters of processed items during the period of stable operation of the machine. It is necessary, as within the limits of stable operation of the machine, characteristics of its quality can be very different and not always satisfy the consumer.

#### **1.5. Causes of vibration in the technological system of the drilling process. Methods of their reduction**

The modern machine-building industry pays great attention to the issues of vibration resistance of machine tools. The vibration resistance of machines is closely connected with their rigidity and both factors often determine the achievable performance. Vibrations limit permissible cutting modes during processing (especially speed and depth of cutting) and lead to the production of a

wavy or chipped surface part, increased strain hardening of its surface layers, reduced processing accuracy, cutting tool durability, disturbance of machine connections and accelerated wear.

The main types of vibrations that are often found in the machine-device-tool-part system and the reasons for their occurrence are:

1. Vibrations transmitted from the outside (from the vicinity of forging equipment, gear-shaping or gear-cutting machines, powerful engines, etc.). In these cases, the frequency of vibrations occurring during cutting is the same or a whole number of times greater than the frequency of exciting vibrations. This phenomenon especially often occurs when installing machines on weak floors, galleries, etc.

2. Fluctuations caused by an imbalance of the rapidly rotating parts of the machine or the processed part. In such cases, the centrifugal force changes direction, which causes fluctuations. The oscillation frequency is equal to the number of revolutions of the unstable part per second.

3. Fluctuations caused by defects in machine gears. Incorrectly cut, poorly mounted or worn gears cause periodic forces to be transmitted to the bearings and consequently to the spindle and machine bed, which under certain conditions can cause vibrations. Sometimes the same effect is caused by rough stitching of belts, pulsation of fluid in pipes of the machine, and other transmission defects.

4. Fluctuations caused by variable cross-section of the cut or the intermittent nature of the cutting process. A typical example of these exciting causes is: milling, turning eccentric shaft necks, turning square joints into circular ones, processing discontinuous surfaces, etc.

Forced fluctuations of small amplitudes always occur when working on machines. They pose a serious danger only for high-precision machines. For other machines under normal operating conditions, they disrupt operation only in case of resonance.

In order to reduce vibration indicators, the following measures are proposed:



1. A significant increase in cutting speed often eliminates self-exciting vibrations. However, at very high cutting speeds vibrations from transmission defects or an imbalance of fast-rotating parts can be detected, therefore, not always high speed can prevent the occurrence of vibration.
2. Simultaneous increase in feeding and decrease in cutting depth leads to a decrease in vibration, an increase in the main angle in terms of  $\phi$  and a decrease in the radius of the rounded tip of the cutter  $r$ , also reduce vibrations.

#### 1.6. The concept of self-oscillations in the cutting materials process

Vibrations can be observed in horizontal or vertical planes as well as simultaneously in both. Vibrations in the horizontal plane in the direction of the  $P_y$  force usually occur due to vibrations of the processed part, and in the vertical plane in the direction of the  $P_r$  force – due to vibrations of the cutter. The processed part and the cutter can also simultaneously oscillate in two planes. When cutting, forced oscillations and self-oscillations occur. Forced oscillations occur as a result of the action of an external exciting force. Examples are vibrations due to the imbalance of machine parts or rotating processed part, pulsation of fluid in pipes in hydraulic machines, etc. Measures to avoid forced fluctuations are the elimination of causes that create the exciting force.

Self-oscillations are a more complex phenomenon that occurs when cutting metals. The main reasons for the occurrence of self-oscillations are:

1. Inconstancy of the friction force of forming chips against the cutter and the cutter against the processed part;
2. Uneven hardening of cut layer throughout its thickness;
3. Non-uniformity of build-up, which leads to alterations in the cutting process of the cutting angle and the cross-sectional area of the cut.

The intensity (wave height) of self-oscillations is influenced by the type of metal being processed and its mechanical properties, elements of the cutting mode, geometric features of the cutting part of the tool and rigidity of the MDTP system.

When processing steels, especially viscous ones, vibrations are stronger than when processing cast iron. With an increase in the HB and  $\sigma_v$  of the processed

metal, vibrations decrease; with an increase in the relative elongation and relative contraction – they increase. As the cutting speed increases the vibrations increase at first and then decrease; the larger the feeding is the smaller the cutting speed is starting from which vibrations decrease. As the cutting depth (cut width) increases, vibrations during longitudinal turning increase.

The impact of feeding on vibrations is less than the impact of speed and depth of cutting. With the increase in feeding (cut thickness), vibrations decrease (at  $s < t$ ); at  $s > t$ , vibrations increase with the increase in feeding. The smaller the main cutting edge angle  $f$  is the more intense the vibrations are. This is explained by both a decrease in thickness and an increase in width of the cut and an increase in the radial (pressing) force of the  $P_a$  with a decrease in angle  $f$ . The greater the  $P_a$  force is the greater the thrust between the processed part and the machine support. Therefore, when grinding long and thin rollers (i.e. rollers of low rigidity), it is necessary to use cutters with large cutting edge angles. In addition to increasing the angles  $f$  (up to  $90^\circ$ ), lunettes as well as special vibration dampers are used to reduce thrust and vibrations. A similar impact but less intense is exerted by the auxiliary cutting edge angle  $f_1$ . The smaller the angle  $f_1$  is, the greater the vibration is. Self-oscillations are also undamped oscillations of systems which themselves are the sources of these oscillations and the amplitude and period of oscillations are determined by the properties of the system itself. Self-oscillations may occur when processing a balanced part on a serviceable machine. For the occurrence of self-oscillations an exciter is needed, that is an initial impact. In the presence of an exciter, the cutting force which is constant during stable cutting turns into a variable force that supports the oscillatory motion. The cutting force can be variable due to the area of the cut or change in the angles of the tool during the cutting process, or both.

When working with relatively low cutting speeds, low-frequency oscillations occur (up to 300 Hz). The frequency of these oscillations is close to the frequency of natural oscillations of the part being processed. In this case, the treated surface has a rough undulation. Low-frequency vibrations have almost no effect on the

durability of high-speed and carbide cutters and high-frequency ones reduce the durability of carbide cutters (up to five times).

This is due to the impact nature of the cutting force which causes small chipping of hard alloys. Self-oscillations during cutting have not been sufficiently studied yet. It is assumed that self-oscillations can be caused by strain hardening, build-ups, variable speed of chip movement, etc. As it is known, the layers of metal lying in front of and under the cutter are subjected to plastic deformation. At initial penetration the cutter enters into the metal. Then, due to strain hardening of metal adjacent to the chips, it is repulsed having penetrated into harder metal. As a result, the thickness of the cut and the cutting force alter. During the exit of the cutter from the metal, i.e. at the beginning of repulsion of the processed part from the cutter, the cutting force is greater than the cutting force when the cutter is inserted into the metal. Thus, the cutting force is a variable value and therefore it contributes to maintaining fluctuations.

### **1.7. Methods of vibration diagnostics**

The advantage of vibration diagnostic methods is the possibility of diagnosing equipment during its operation. The resulting vibration pattern (spectrogram) is a set of amplitudes of harmonic components at certain frequencies. For collection and analysis of spectrograms special equipment is required, preferably that which can be used by personnel with limited training in vibration diagnostics.

Vibration diagnostics is effective for machines that have rotating elements in their design (assessment of imbalance), rolling bearings (degree of wear), hydraulic equipment (degree of wear), electric engine (unfastening of the stator winding, etc.), which corresponds to the design of machine equipment.

There are several methods of vibration diagnostics:

1. Diagnostics by the general vibration level. This method has become widespread due to the simplicity of assessment of the technical condition by the general level of vibration signal and due to this can be conducted by personnel without special training in vibration diagnostics.

The root-mean-square value of velocity (RMS) is most often taken as the criterion of the vibration level.

The disadvantage of the method is that the defects are assessed at the last stage of their development, in other words, it is the pre-emergency diagnostics of mechanisms which is carried out. Diagnostics of defects is carried out by compliance of the general vibration level with the normative vibration levels for a certain type of mechanism. If the vibration level exceeds the permissible norms, the mechanism being diagnosed is recognized as faulty.

2. Diagnostics by spectral diagrams. They are designed to identify defects in the middle of their development. The method is based on the distinguishability of the energy level of resonant vibrations in the overall picture of the frequency distribution of power of the vibration signal. The method requires a special spectrum analyzer to obtain the amplitude spectrum and trained personnel to analyze it.

In most regulatory documents on vibration, root mean square value is used as a normalized vibration parameter to monitor the technical condition of the mechanism, and the frequency level is 10 – 1000 Hz. It should be noted that the use of only one parameter (RMS) for preliminary assessment of the condition of the equipment narrows the frequency range.

3. Diagnostics based on the peak/background ratio of the vibration signal. The method has several effective modifications for the detection of high-frequency signal, measurement of shock pulses and measurement of pulse energy. The method allows detecting defects at early stages by means of simple devices.

The cross-ratio is equal to the ratio of the amplitude peak value of the time signal to the RMS. The main purpose of calculating the cross-ratio is to give the specialist an initial idea of the number of shocks within the time signal. Impacts are often associated with rolling bearing wear, cavitation, and drilling bit teeth wear.

4. Vibration diagnostics by the energy spectrum. The method shows the distribution of signal energy in a particular area, according to which it is possible to draw a conclusion about technical condition of individual units of machines.

5. Vibration diagnostics based on autocorrelation function (ACF)  $R_y(\tau)$  allows calculating dependence of the instantaneous value of vibrations amplitude at a given moment in time on its earlier values:

$$R_y(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T s(t)s(t + \tau)dt, \quad (1.7)$$

where  $s(t)$  – vibration signal at a given moment in time  $t$ ;

$s(t+\tau)$  – shifted copy of the signal for time  $\tau$ ;

$T$ – oscillation period.

The ACF of a mixed signal is calculated by the formula

$$R_y(\tau) = R_1(\tau) + R_m(\tau), \quad (1.8)$$

where  $R_1(\tau)$  – periodic function with a frequency corresponding to the periodic component  $s_1(\tau)$ ;

$R_m(\tau)$ –function corresponding to the background noise component (interference).

As a diagnostic parameter in this case is taken the value that determines the technical condition of mechanisms

$$\delta = R(0) - \frac{\sum_{k=1}^n R(kT)}{N}, \quad (1.9)$$

where  $R(0)$  – ACF value at  $\tau = 0$ ;

$R(kT)$  – ACF value at  $\tau = kT$  ( $k = 1, 2, \dots, n$ );

$N$  – number of averaged peak ACF values.

6. Vibration diagnostics based on flicker noises arising in slowly wearing (aging) technical mechanisms is the diagnostics based on infra-low vibrations (0.01–60 Hz) the amplitude of which is proportional to  $1/f$ . This parameter is used to diagnose kinematic pair defects at early stages. The application of the method is limited to infra-low frequencies.

7. Vibration diagnostics by acoustic emission is an analysis of ultrahigh-frequency vibrations (0.1–10 MHz) that appear when the metal structure is damaged.

8. It is advisable to use diagnostics by the cepstrum of diagnostic signal in cases when the alteration in the condition of mechanism is not clearly manifested and is not recognized using the vibration amplitude spectrum. The disadvantage of the method is hardware complexity, the advantage is high resolution.

An effective method of detecting defects at early stages due to interference variability and thus greater reliability is the method of diagnostics by envelope spectra.

The spectrum parameters allow determining the properties of random vibration. The presence of amplitude modulation due to defects in friction knots is manifested by envelope amplitudes and frequencies of harmonic components.

In defect-free friction knots, friction forces and the level of random vibration excited by them are stable over time. There are no harmonic components in the spectrum of vibration envelope of such knots. If friction forces and vibration due to defect acquire amplitude modulation, the frequency of modulation determines the type and the depth of modulation determines the magnitude of the defect. In the envelope spectrum they are determined by the frequencies and amplitudes of the harmonic components that have occurred.

### **1.8. Measuring instruments for vibration detection**

When registering vibration parameters, two measurement principles are used: dynamic and kinematic.

The first one is based on measuring the coordinate of the point of the controlled mechanism regarding the selected fixed coordinate system. Sensors based on this principle belong to inertial devices and measure parameters of absolute vibration. The second one is based on measuring vibration parameters regarding an artificial fixed frame of reference.

According to the principle of operation, such sensors are divided into parametric and generator ones. In parametric sensors under the influence of the

measured mechanical quantity some electrical parameter of the converting element modulating electrical voltage or current generated by an external source alters.

Generator sensors directly convert mechanical energy into electrical energy.

Piezoelectric sensors (accelerometers) are mainly used for vibration diagnostics of machine equipment components.

Piezoelectric acceleration sensors belong to the class of inertial action generator sensors. The principle of operation of the sensors is based on a direct piezoelectric effect that is on the generation of electric charges on electrodes of the piezoelectric element under the influence of inertial forces resulting from the vibration of the mechanism with a remote control mounted on it.

The design of the remote control (Fig.1.4) consists of rigidly connected inertial 2 and elastic elements 7, a piezoelectric element 6, a current-removing plate 3 and a casing 1. The sensor is fixed to the mechanism at the point of measuring vibration acceleration along the sensitivity axis of the sensor, for example, using a threaded shank 5.

As a result of the longitudinal deformation of the piezoelectric element, an electric charge is generated on its electrodes 4.

An example of an accelerometer can be a small-sized piezoelectric accelerometer for measuring intense vibration and shock accelerations of the AK3165 model (Fig. 1.5, Table 1).

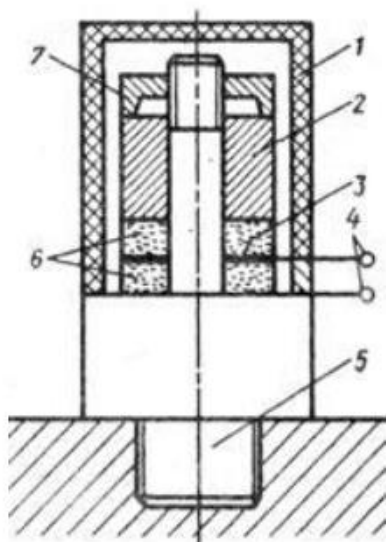


Fig. 1.4. The design of the accelerometer



Fig. 1.5. The accelerometer AK3165 model

Table 1. Characteristics of the accelerometer AK3168 model

Transformation coefficient, $\text{pC} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{c}^2$	2.0
Maximum measured acceleration, $\text{m} \cdot \text{c}^2$	10000
Operating temperature range, $^{\circ}\text{C}$	- 40 up to + 125
Frequency of installation resonance, kHz	50
Operating frequencies (10 %), Hz	1–15000
Electric capacity, nF	9.0
Threaded stud fastening	M5
External dimensions, mm	S14x19
Weight (without cable), g	12.0

#### VS-311 spectrum analyzing recorder

The VS-311 universal spectrum analyzing recorder is designed for measuring, recording and analyzing vibration data and other physical quantities assessed by sensors connected to the device.

VS-311 allows:

- registering, collecting and transmitting data from vibration sensors
- investigating vibratory conditions of machines, mechanisms, mechanical structures, bearings, gears, etc
- identifying various defects of machines, mechanisms, mechanical structures, bearings, gears, etc



- balancing rotors of machines and mechanisms.

#### VSHV-003-M3 noise and vibration meter

The VSHV-003-M3 is a small-scale, portable measuring device for measuring and analyzing noise and vibration indoors, in industrial and field conditions. The device detects the sources of noise and vibration and their characteristics.

The VSHV-003-M3 has built-in filters that allow classifying, measuring and assessing normalized parameters and noise and vibration characteristics in accordance with the requirements of sanitary norms and occupational safety standards.

The VSHV-003-M3 is supplied with piezoelectric vibration measuring transducers.

#### VVM-311 vibration meter

A portable device with a digital indicator for measuring vibration parameters (vibration acceleration, vibration velocity, vibration displacement) of operating equipment, machines and other mechanisms in various conditions. It is equipped with vibration measuring transducers.

#### SM-3001 portable vibration measuring device

The portable vibration measuring device SM-3001 as a vibration data collector is simple and compact with the possibility of automated diagnostics. With the help of the device vibration measurement and data collection, vibration adjustment of equipment, balancing of rotating parts are carried out.

The device has been greatly useful during vibration diagnostics of wheel blocks of electric trains, technological equipment of gas compressor and oil pumping stations of main pipelines because it is not heavy, it has a durable casing and it is easy to use. It allows for up to 300 measurements per working shift.

Measured parameters are the shape of the signal and its spectrum, the envelope of the spectrum.

#### K-5101 measuring complex

The K-5101 measuring complex is a multi-channel, computerized measuring complexes, based on the technology of virtual instruments using computing capabilities of modern computers, technologies of National Instruments company.

With the help of complexes, vibration parameters of moving components of mechanical structures are measured and recorded.

#### AD-60K universal acoustic flaw detector

The AD-60K flaw detector is used for acoustic control of products made of materials with large attenuation.

Thanks to its features the device has been greatly popular for the following:

- signal from the converter and its spectrum are simultaneously displayed with the possibility of separate amplification in time and spectral regions;
- saving and retrieval of flaw detector settings, viewing the results on the flaw detector screen.

#### UD2B-P45/46 digital ultrasonic flaw detector

The device is designed to detect defects in semi-finished products, finished products and welded joints to measure depth and coordinates of their location, to measure thickness, to measure propagation velocity and attenuation of ultrasonic vibrations in material.